

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra Elektroenergetiky

Měření a vyhodnocování parametrů nových typů svítidel

Measurement and evaluation of the new types luminaires parameters

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Zdeněk Svozil

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Měření a vyhodnocování parametrů nových typů svítidel
Measurement and evaluation of the new types luminaires parameters

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor vnitřních osvětlovacích soustav se zaměřením na vyhodnocování oslnění
 - Svítidla (vnitřní LED a zářivková)
 - Světelné zdroje (LED, zářivky)
 - Osvětlovací soustavy – metody pro vyhodnocování oslnění
2. Měření parametrů osvětlovacích soustav
 - Měření křivek svítivosti
 - Měření jasů
 - Porovnání UGR z vypočtených a naměřených dat
3. Možnosti snižování oslnění u LED svítidel

Seznam doporučené odborné literatury:

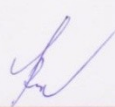
- [1] Sokanský, K.: Světelná technika, ČVUT, Praha, 2011
- [2] Plch, J.: Světelná technika v praxi. IN-EL spol. s r.o., Praha 1999,
- [3] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995,
- [4] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, VŠB-TU Ostrava
- [5] Manuály k výpočetním programům (Relux, WILS, WDLS)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Měření a vyhodnocování parametrů nových typů svítidel“ vypracoval samostatně. Všechna měření jsem odměřil sám. V přiloženém seznamu literatury jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum odevzdání práce: 5. 5. 2013

.....*Svozil Zdeněk*.....

Bc. Zdeněk Svozil

Poděkování

Tímto chci poděkovat všem, kteří mi na přípravě a tvorbě diplomové práce byli oporou. Hlavní poděkování patří hlavně vedoucímu mé diplomové práce prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. za rady a konzultace během diplomové práce a také za vstřícný a trpělivý přístup a připomínky.

Velké poděkování patří také panu Ing. Zbyňkovi Carbolovi za pomoc při měření a realizaci diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá rozbořem vnitřních svítidel, světelných zdrojů zářivkových a LED. V teoretické části jsou rozepsány principy, parametry a vlastnosti světelných zdrojů. Jejich hlavní výhody a nevýhody. Dále je uvedeno optické rozdělení, hlavní parametry a použití vnitřních svítidel. V práci jsou uvedeny i metody výpočtu oslnění.

Cílem bylo změřit a porovnat jednotlivé parametry jak zdrojů, tak i svítidel. Křivky svítivosti, jasy a porovnat naměřené hodnoty s ohledem na oslnění. Porovnával jsem LED se zářivkou nebo LED navzájem.

Klíčová slova

Svítidla, LED, zářivky, křivky svítivosti, jas, oslnění

Abstract

This thesis deals with the analysis of indoor lighting, fluorescent lamps and LED. In the theoretical part are detailed principles, parameters and properties of light sources. Their main advantages and disadvantages. Below are the optical division, the main parameters and use of internal fixtures. The paper presents the method of calculating glare.

The aim was to measure and compare the various parameters as sources and luminaires. Luminous curves, highlights and compare the measured value with respect to glare. I compared the LED lamp, LED each other.

Key Words

Lights, LED, fluorescent tube, waveform luminance, brightness, glare

Seznam symbolů a zkratk

A_p	plocha průmětu svítidla
E_i	nepřímá osvětlenost oka pozorovatele
f_1	část světla dopadající na světelně činnou část difuzoru
f_2	část světla prostupující otvorem v difuzoru (u neuzavřených difuzorů)
I	svítivost
I_{dMAX}	maximální dovolený proud v propustném směru
I_F	proud v propustném směru, velikost určena typem diody a svítivostí
IP	stupeň krytí
L	jas svítící části každého svítidla ve směru oka pozorovatele
L_B	jas pozadí
LED	light – emitting diode
L_γ	svítivost svazku světelných paprsků
p	činitel polohy dle Gutha pro každé svítidlo
r	vzdálenost pozorovatele od středu svítící části svítidla
R	hodnota rezistoru
R_a	index podání barev
SMD	surface mount device
U_B	napětí napájecího zdroje
U_{dMAX}	maximální závěrné napětí
U_F	napětí na diodě v propustném směru, dáno konstrukcí diody

UGR	unified glare rating (činitel řešící přímé rušivé oslnění)
\square	činitel mnohonásobných odrazů
Φ	světelný tok
Ω	prostorový úhel
α	minimální úhel clonění
ϕ_{sv}	světelný tok svítidla
ϕ_z	světelný tok všech zdrojů světla ve svítidle
λ	vlnová délka
ρ	činitel odrazu vnitřního povrchu difuzoru
τ	činitel prostupu difuzoru
ω	prostorový úhel svítící části
ψ	činitel vazby povrchu

Obsah

1	Úvod	10
1.1	Základní pojmy	11
1.2	Rozdělení oslnění	14
2	LED – popis a vlastnosti	15
2.1	Princip LED	15
2.2	Typy PN přechodů	15
2.3	Barva vyzařovaného světelného paprsku	16
2.4	Světelný tok LED	18
2.5	Konstrukční uspořádání LED	18
2.6	V – A charakteristiky LED	19
2.7	Volba a nastavení pracovního bodu	19
2.8	Výhody a nevýhody LED	20
2.9	Aplikace s využitím LED	23
3	Zářivky – popis a vlastnosti	27
3.1	Princip zářivky	27
3.2	Vlastnosti zářivek	27
4	Svítlidla	32
4.1	Dělení svítidel:	32
4.2	Optické systémy svítidel	34
4.2.1	Svítlidla s rozptylovači (difuzory)	34
4.2.2	Svítlidla s difuzními reflektory	35
4.2.3	Svítlidla se zrcadlovými reflektory	35
4.2.4	Svítlidla s refraktorovými systémy	36
4.3	Základní parametry svítidel	37
5	Metody výpočtů oslnění	40
6	Měření a porovnání světelných zdrojů a svítidel	43

6.1	Porovnání vnitřních svítidel THORN Chalice.....	43
6.1.1	Jasové fotografie LED svítidla	44
6.1.2	Jasové fotografie zářivkového svítidla	47
6.1.3	Mezní čáry jasů.....	50
6.1.4	Závěr:.....	53
6.1.5	Závěrečné srovnání obou svítidel Thorn:	54
6.2	Porovnání bodových LED s prizmatickým krytem a bez něj	55
6.3	Metody porovnání zářivkových a LED trubic	66
7	Závěr:.....	73
8	Použitá literatura a zdroje.....	74

1 Úvod

Člověk využívá světlo pro rozlišování předmětů a vjemů okolí a je pro něj nezbytným pomocníkem pro život. V počátcích se světlo využívalo jen tam, kde již nestačilo denní osvětlení, ale časem se stalo nedílnou součástí všech interiérů. Postupně se začalo využívat osvětlení na různých reklamních plochách, výlohách nebo na osvětlování budov, architektonických staveb a uměleckých děl.

Světelné zdroje i svítidla prošla od svého počátku významným vývojem. Od obyčejné žárovky, přes sodíkové výbojky, kompaktní zářivky až po nejmodernější technologie LED. Vývoj řešil především ekologickou a ekonomickou stránku věci s ohledem k rostoucím cenám energie a stále silnějšímu podvědomí o nepříznivém dopadu člověka na přírodu. Lidé vyhledávají efektivnější a hlavně úspornější alternativy řešení. Nejnovějším trendem v dnešní době je využití LED. Ačkoli má vyšší pořizovací cenu, je LED nejvýhodnější z pohledu návratnosti a kvality parametrů.

V diplomové práci jsem porovnával světelné zdroje, svítidla LED a zářivkové svítidla – jejich funkce a vlastnosti. Zaměřil jsem se na vnitřní svítidla, jejich rozdělení a popis vlastností. Popisují také metody výpočtů oslnění pro jednotlivá místa.

1.1 Základní pojmy

a. Oslnění

Oslnění je způsobené jak zdroji světla, svítidly tak odrazy od lesklých povrchů. V prostorách vnitřních se jedná o oslnění relativní. Podle platných norem musí být oslnění lidského oka co nejmenší. Dosáhne se toho vhodným návrhem a rozmístěním svítidel, které mají malý jas, vhodnou mřížku nebo se používá rozptylových povrchů. Na oslnění mají vliv i další činitelé, např. barva světla oslňujícího zdroje a barva pozadí, tvar oslňující plochy a seskupení většího počtu zdrojů oslnění.

b. Oslnivost

Nepříznivá vlastnost svítícího nebo osvětleného předmětu, způsobující oslnění.

c. Oslnitelnost

Individuální a proměnná vlastnost zraku.

d. Činitel oslnění kontrastem

Číslo vyjadřující stupeň oslnění normálního pozorovatele uvažovanou světelnou soustavou za daných podmínek pozorování (místo pozorovatele, směr pohledu).

e. Činitel polohy

Číslo udávající v jakém poměru se zmenší oslnění, jestliže se oslňující zdroj vychýlí z osy pohledu do polohy mimo osu pohledu.

f. Adaptace zraku

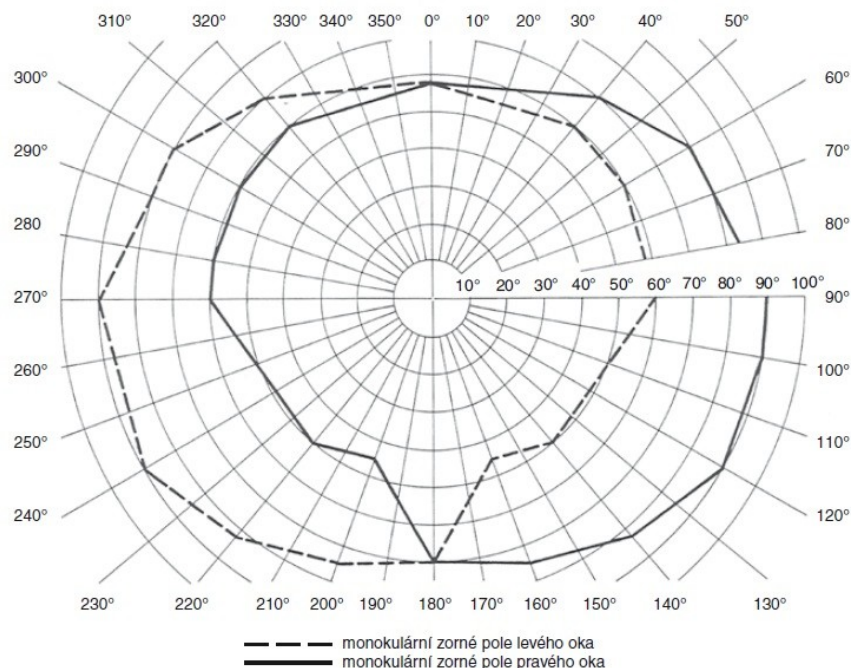
Adaptace zraku představuje neustálené, samočinné zrakové procesy, při kterých se přizpůsobuje citlivost zraku jasu pozorovaného okolí. Adaptace zvyšuje citlivost oka na světlo až desettisíckrát oproti výchozí poloze.

g. Adaptační jas

Stejnoseměrný jas zorného pole, který by vyvolal stejný adaptační stav zraku, jako uvažované zorné pole.

h. Zorné pole

Průmět pozorovaného prostoru do roviny kolmé k uvažované ose vidění, při pozorování buď jedním okem (monokulární) nebo současně oběma (binokulární). Člověk vidí přesně v úhlovém rozsahu asi 8° ve vodorovné rovině a asi 6° ve svislé rovině. Největší ostrost v $1,5^\circ$.



Obr. 1 Binokulární a monokulární zorná pole pro bílé světlo[6]

i. Rušivé oslnění

Pro popis oslnění se využívá systém UGR (unified glare rating – činitel řešící přímé rušivé osvětlení). Je to spojení Eishornova a Hopkinsova vzorce a také činitele polohy podle Gutha. Hodnoty UGR se liší v závislosti na typu vnitřního prostoru. Kvalita svítidel s ohledem na oslnění závisí na tom, v jakém budou prostředí. UGR má normalizovanou řadu: 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28.

Výpočet UGR:

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (1)$$

L_B – jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

L – jas svítící části každého svítidla ve směru oka pozorovatele ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

p – činitel polohy podle Gutha pro každé svítidlo, podle jeho odchýlení od směru pohledu

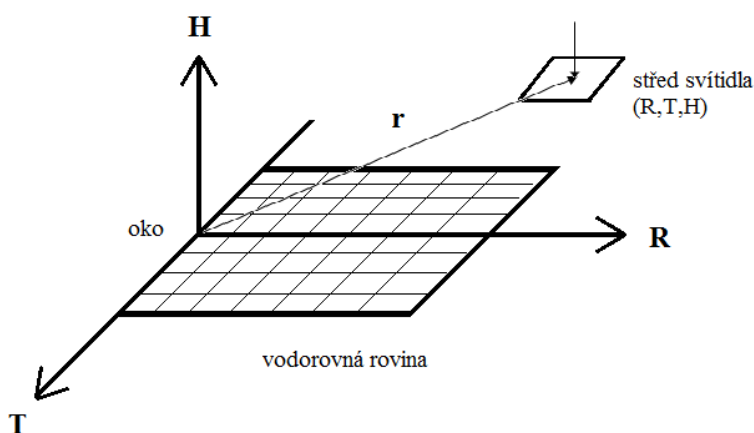
ω – prostorový úhel svítící části každého svítidla vzhledem k oku pozorovatele (sr)

$L_B = \frac{E_i}{\pi}$... E_i – nepřímá osvětlenost oka pozorovatele (lx)

$L = \frac{I}{A_p}$... poměr svítivosti svítidla I a plochy průmětu svítidla A_p

$\omega = \frac{A_p}{r^2}$... A_p – plocha průmětu svítící části svítidla (m^2), r – vzdálenost pozorovatele od středu svítící části svítidla (m)

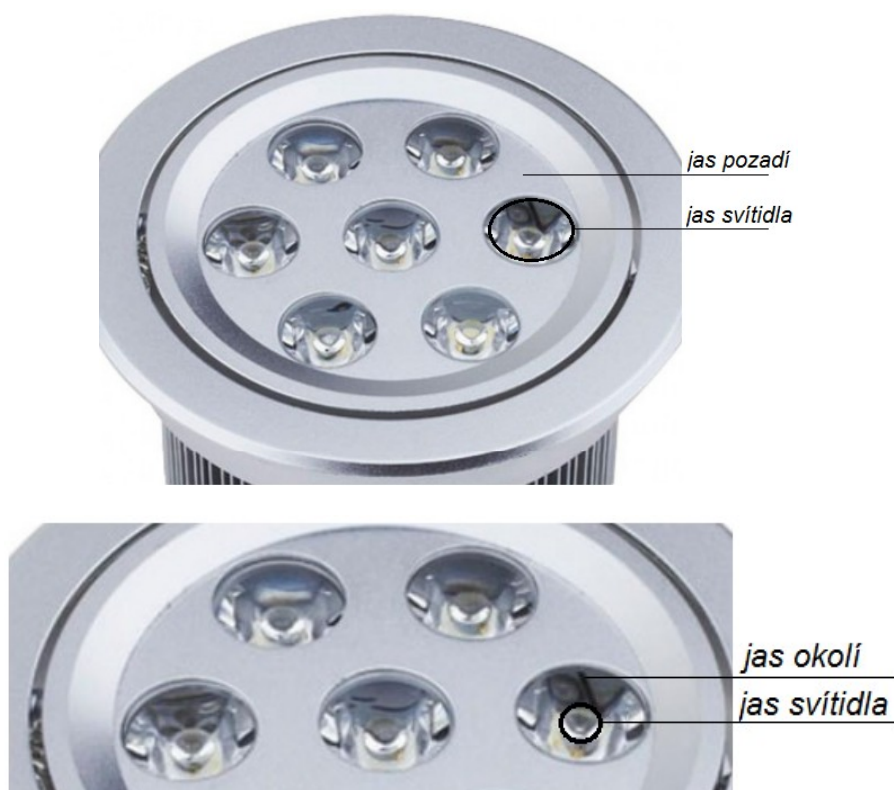
p ... stanovení dle tabulky, určující souřadnice R , T , H (T/R a H/R) s počátkem v oku pozorovatele



Hodnota UGR osvětlovací soustavy musí být uvedeny ve výkresové dokumentaci a nesmí překročit hodnoty, které jsou uvedené v normě ČSN EN 12464-1. Vypracovávají se redukované a neredukované tabulky UGR a křivky UGR. Hodnoty UGR se neurčují u svítidel, které mají méně než 0,0003 steradiánů.

UGR se u LED svítidel určuje velice obtížně. Problém je v tom, co brát jako jas svítidla a co jako jas pozadí.

Jas svítidla můžeme brát buď jako LED samotnou společně s reflektorem a pozadí jako okolí LED. Anebo jas svítidla brát diodu a jas okolí jako reflektor.



Obr. 2 Problematické určení jasů u LED

1.2 Rozdělení oslnění

- a) Podle stupně působení
oslnění rušivé
omezující
oslepující
- b) Podle příčiny (povahy a rozložení oslňujícího jasu)
oslnění absolutní (kritickým jasem)
přechodové
kontrastem (relativní)
závojevé

- c) Podle umístění oslňujícího zdroje v zorném poli
 - oslnění osově (centrální foveální)
 - krajové (periferní)
- d) Podle cesty od oslňujícího zdroje k oku
 - oslnění přímé
 - odrazem

Omezení oslnění cloněním

Zdroje mohou předmět oslňovat vysokým jasem a tím zhoršovat viditelnost předmětů. Tomu se dá zabránit vhodným cloněním nebo vhodným odstíněním světla od oken.

Jas světelného zdroje (kcd.m-2)	Minimální úhel clonění α (°)
20 až < 50	15
50 až < 500	20
≥ 500	30

Tab. 1 Minimální úhly clonění svítidel pro určité jasy světelných zdrojů[3]

2 LED – popis a vlastnosti

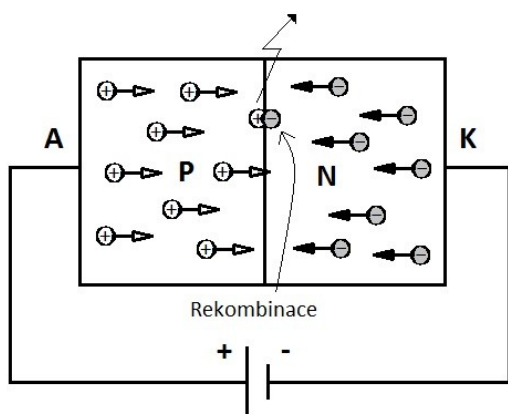
2.1 Princip LED

LED (Light – emitting diode, znamenající dioda, vyzařující optické záření). Využívá principu elektroluminiscence, při níž je PN přechodem vyzařováno optické záření. Stejně jako u klasických usměrňovacích diod je principem činnosti přiložení napětí v propustném směru, čím dochází k injekci minoritních nosičů elektrického náboje přes PN přechod. Tím dochází k rekombinaci elektronů a děr. Pod pojmem rekombinace se rozumí pochody, kdy volné elektrony ztrácejí energii a dostávají se na oběžné dráhy v atomech.

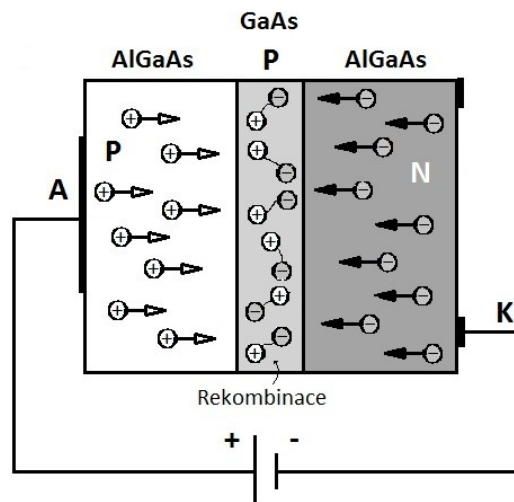
2.2 Typy PN přechodů

- a) Homogenní přechody – nejjednodušší typy přechodů, tvořeny z jednoho typu materiálu na obou stranách dotovaného příměsemi P a N

- b) Heterogenní přechody – složeny ze dvou různých polovodičových materiálů (GaAs, AlGaAs) zobrazující tzv. dvojitou heterostrukturu. Obsahují více PN přechodů, výkonnější než diody s homogenním přechodem, avšak složitější a dražší. Používají se převážně u diod laserových.



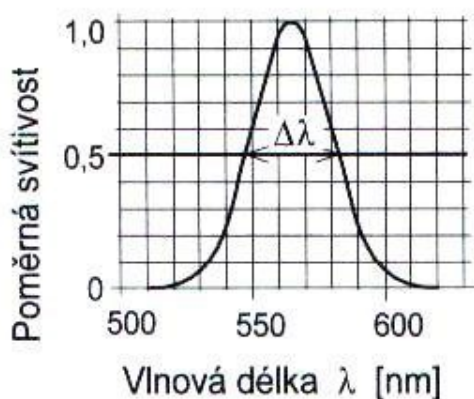
Obr.3 Princip diody LED, homogenní přechod[1]



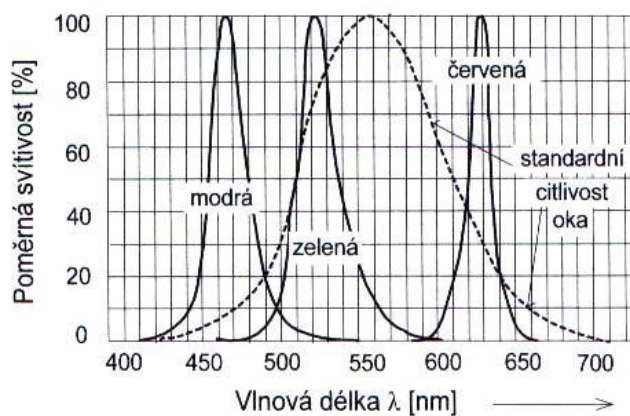
Obr. 4 Příklad LED s heterogenním přechodem[1]

2.3 Barva vyzařovaného světelného paprsku

LED vyzařují paprsky v ultrafialové, ve viditelné nebo v infračervené oblasti v závislosti na použitém materiálu. Barva LED je udávána v *nm* a určíme ji ze spektrální charakteristiky, která udává poměrnou svítivost v závislosti na vlnové délce.



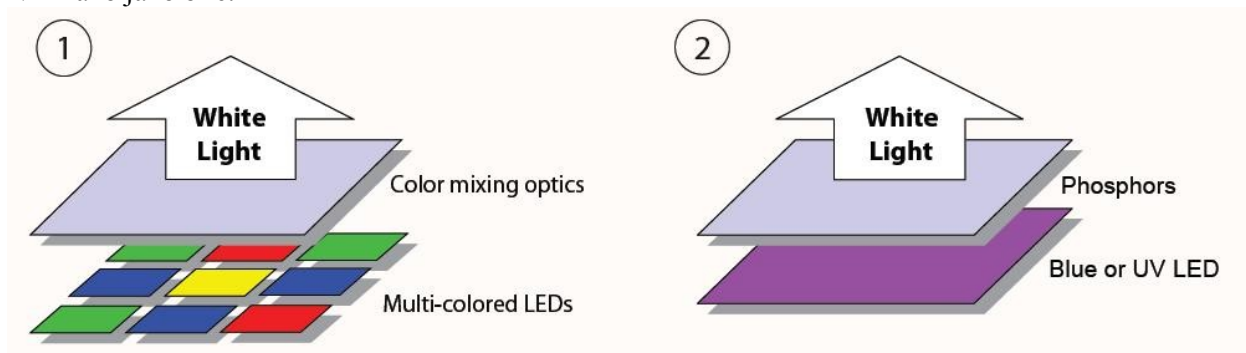
Obr. 5 Normalizovaná spektrální charakteristika[1]



Obr. 6 Spektrální charakteristiky RGB LED [1]

RGB LED se vyrábí za účelem možnosti generování všech barev, včetně bílé, která byla vynalezena roku 1995 a od té doby se stále více používá namísto obyčejných světel.

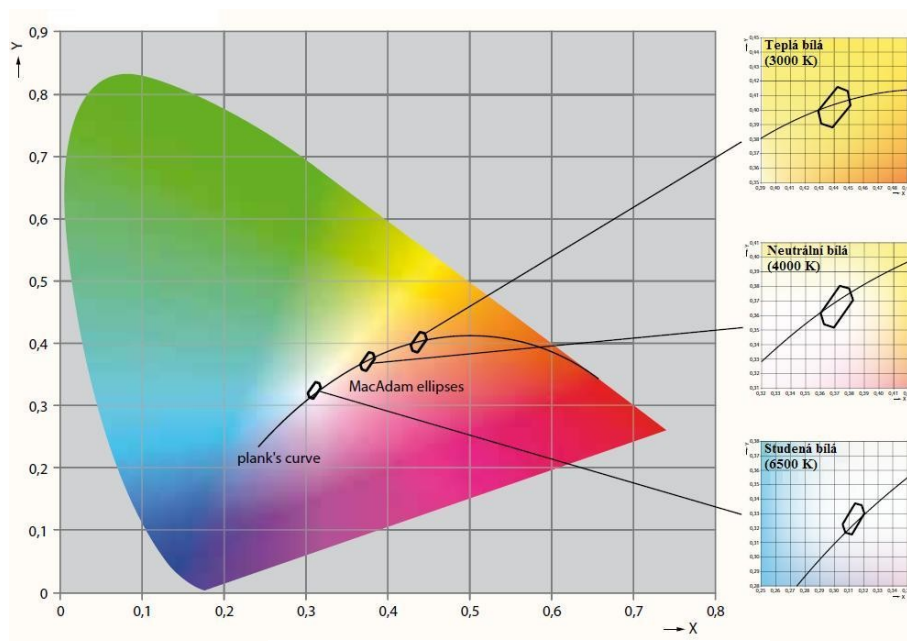
Pro výrobu bílé barvy musíme použít buď červenou, zelenou a modrou LED (1), nebo použít záření modré diody ke stimulaci sekundární fluorescence vhodně zvoleného typu luminoforu (2). Primární modré světlo diody smícháme se žlutým světlem, které emituje fosfor, čímž vznikne světlo, které je okem vnímáno jako bílé.



Obr. 7 Generování bílého světla [11]

Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti je závislá na zvoleném luminoforu. Teple bílé světla jsou vhodné do domácností a odpočinkových místností. Oproti tomu studená bílá pro pracovní prostory, kde zvyšuje pracovní efektivitu. Index podání barev může dosáhnout až $R_a > 90$.



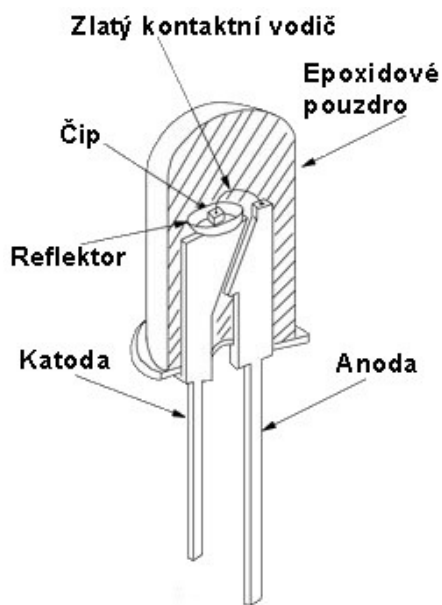
Obr. 8 Teplota chromatičnosti

2.4 Světelný tok LED

Svítivost je udávána pro určitý proud, procházející diodou v přímém směru a je závislá na provedení čipu, použitém materiálu, typu přechodu, provedení nebo na materiálu pouzdra. Dělí se na tři základní kategorie svítivosti: standardní – obvyklá, zvýšená, vysoká.

2.5 Konstrukční uspořádání LED

Výroba LED je standardně vyráběna ve dvou základních provedeních, klasickém a SMD (surface mount device). Pro klasickou montáž je pouzdro diod z průhledného plastu určité barvy, který je buď čirý nebo difúzní kruhového nebo obdélníkového průřezu. Velikost těchto pouzder se pohybuje v jednotkách milimetrů.



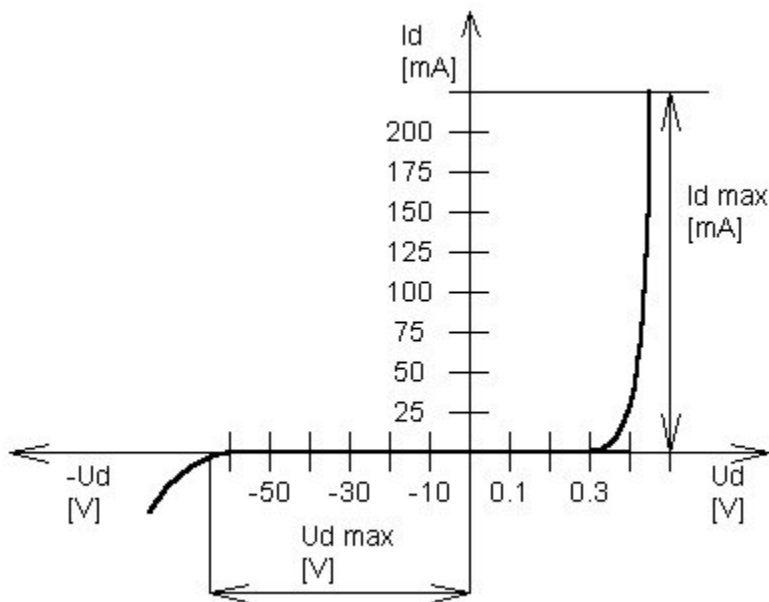
Obr. 9 Příklad standardního uspořádání LED [5]



Obr. 10 Příklad SMD provedení LED [7]

2.6 V – A charakteristiky LED

V – A charakteristika diody LED je totožná s klasickou diodou. Rozdílné je pouze napětí mezi katodou a anodou U_F ve směru propustném. Toto napětí závisí na materiálu a konstrukci diody, na proudu I_F a také na teplotě. Teplotní koeficient je záporný, z čehož vyplývá, že hodnota U_F s rostoucí teplotou klesá.



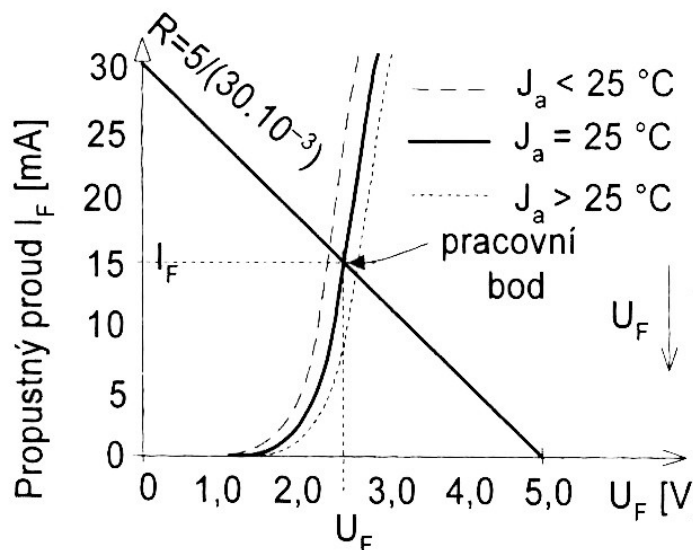
$I_{d\max}$ – maximální dovolený proud v propustném směru

$U_{d\max}$ – maximální závěrné napětí

Obr. 11 Příklad V – A charakteristiky LED[20]

2.7 Volba a nastavení pracovního bodu

V LED stačí diodu zapojit v propustném směru, přes vyhovující odpor na zdroj napětí. Z katalogu se pak zjistí hodnota potřebného proudu. Při použití LED k indikaci střídavého napětí bývá maximální dovolené závěrné napětí malé, a proto se doporučuje zapojit do série s LED obyčejnou usměrňovací diodu.



Obr. 12 Nastavení pracovního bodu LED, teplotní závislost V-A charakteristiky[1]

Z obrázku je patrné, že jestliže se zmenší hodnota rezistoru R , tak se naopak zvětší teplotní závislost proudu I_F . Napájením diody ze zdroje konstantního proudu se tato závislost minimalizuje.

Hodnotu tohoto rezistoru určují tyto veličiny:

- I_F – proud v propustném směru, velikost určena typem diody a svítivosti
- U_F – napětí na diodě v propustném směru, dáno konstrukcí diody
- U_B – napětí napájecího zdroje

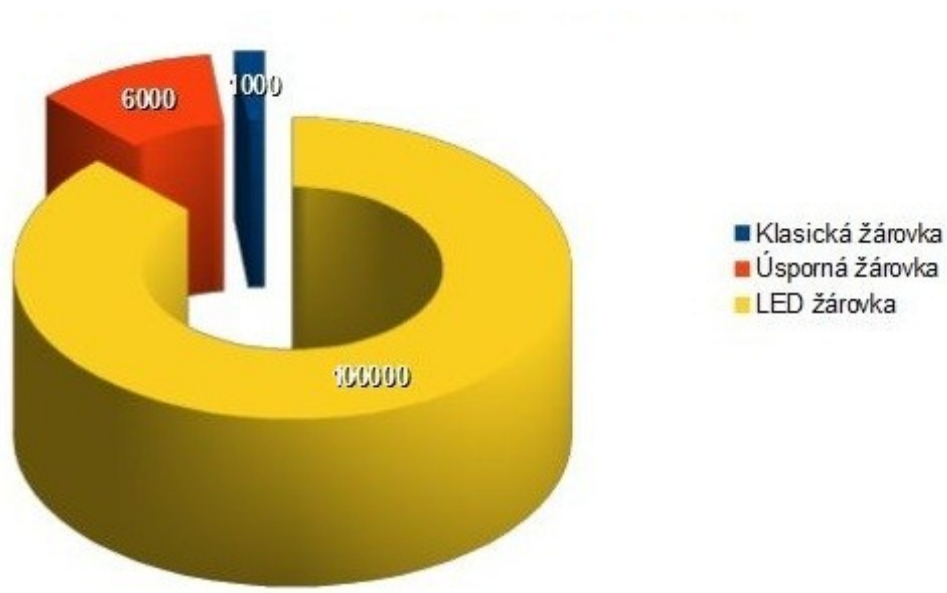
$$R = \frac{U_B - U_F}{I_F} \quad (2)$$

2.8 Výhody a nevýhody LED

Výhody:

Oproti žárovkám produkují větší měrný výkon – přes 100 lm/W. Tohoto se využívá především v zařízeních napájených bateriemi nebo v úsporných zařízeních. Mají možnost vyzařování všech barev bez použití speciálních a složitých filtrů a nemění svoji barvu ani při funkci „stmívání“, kdy se snižuje napájecí proud. Intenzitu svítidla můžeme regulovat buď analogicky 1 – 10V anebo digitálně DALI

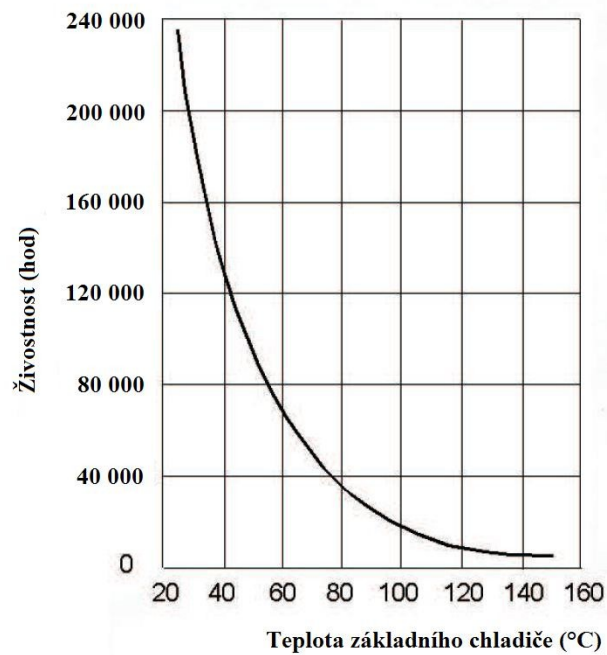
v rozsahu 0 – 100% LED jsou odolné vůči nárazům, otřesům, vibracím a dají se použít i tam, kde dochází k častému zapínání a vypínání zařízení. Životnost LED závisí především na chlazení a dalších faktorech, ale udává se okolo 10 000 – 100 000 h (někde i 1 000 000 h). Mají okamžitý start, rozsvítí se v řádech mikrosekund. Jsou velice malé a dají se použít i do desek plošných spojů a na rozdíl od zářivek neobsahují rtuť.



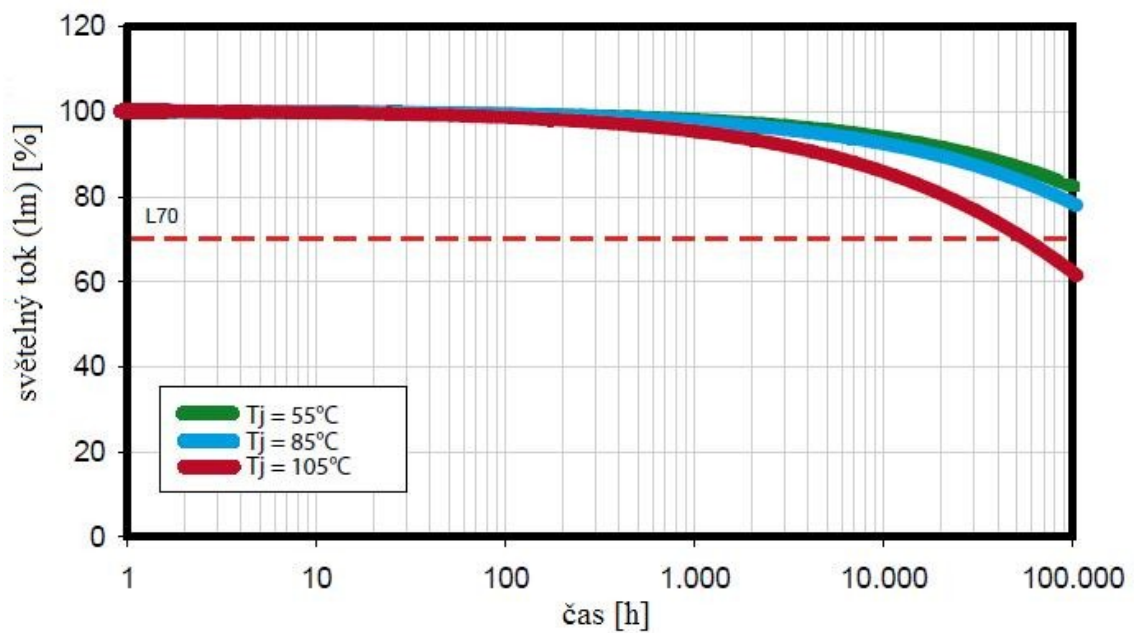
Obr. 13 Porovnání životnosti jednotlivých typů žárovek[21]

Nevýhody:

Vyšší pořizovací náklady (s ohledem v ceně za lumen) oproti tradičním světelným zdrojům, ovšem v porovnání s celkovými náklady, včetně udržovacích, daleko předčí klasické zdroje světla. Pro dostatečné osvětlení potřeba několik diod, neboť pouze jedna dioda září slabě. Výkon značně závisí na teplotě okolí a v místech s vyššími teplotami může dojít k nedostatečnému chlazení a následnému přehřátí (automobily, vojenské a lékařské účely), proto je v těchto prostorách nutné využívat chladiče.



Obr. 14 Závislost životnosti LED na teplotě chladiče



Obr. 15 Závislost světelného toku na čase a teplotě

Nemohou být použity v aplikacích, kde potřebujeme ostře směrový paprsek světla. LED nejsou schopny směrovosti pod několik stupňů. Jestliže potřebujeme směrovější zařízení, výhodnější použít Laser (nebo LED lasery).

2.9 Aplikace s využitím LED

LED se využívají především v architektonické osvětlení, indikátory stavu na všech typech zařízení, dopravní světla a značení. Dále pro systémy automatické kontroly, kde je vyžadováno jasné, soustředěné a homogenní světlo, označení nouzových východů. V optických vláknech, nebo v bezdrátových optických systémech, pro senzory pohybu (například v optické myši). Jako podsvícení pro LCD televize a displeje. Použití v počítači, pro monitorování aktivity pevného disku a identifikaci zapnutí, osvětlení komponent. LED můžeme dále využít v lucernách, ve velkoplošných obrazovkách (s kombinací červené, zelené a modré LED lze vytvořit až 60 000 000 barev). Již více než třicet let jsou LED diody používány v nejrůznějších průmyslových aplikacích, přepínače nebo měřicí přístroje.

Díky tomu, že dnešní bílé LED diody dosahují účinnosti srovnatelné s žárovkami - jsou stále více používány pro běžné osvětlování. V nouzovém a dekorativním osvětlení dosáhly již dříve širokého uplatnění. Dnes těží z výhod LED diod například světelné reklamy, zvláště při použití barevných LED modulů.

LED svítidla

LED trubice – používají se převážně do stávajících svítidel na lineární zářivky T8 (průměr 26mm). Musí se hlídat celková výsledná osvětlenost a dát pozor na případné oslnění. Výhoda je v jejich nezávadnosti světla oproti klasickým zářivkám vylučujících ultrafialové a infračervené záření, díky tomu se dají použít ve všech typech místností. Dále LED omezují stroboskopický jev a mají daleko nižší výkon.



Obr. 16 LED trubice 150 cm 19W/438LED [5]

LED trubice se například využívají v zářivkových tělesech vestavěných, vhodné jak do kanceláří, tak třeba do dílen.



Obr. 17 LED zářivkové těleso vestavěné [5]

LED průmyslové – jejich výhoda je převážně ve spotřebované energii. Oproti klasickým světlům spotřebují méně než polovinu elektrické energie a tím se ušetří. LED přispívají také ke snížení uhlíkových emisí a ochraně životního prostředí. Při použití LED nedochází při běžné frekvenci k efektu zastavených strojů.



Obr. 18 LED svítidlo průmyslové 90W [5]

LED panely – spotřebují maximálně jednu třetinu elektrické energie v porovnání se spotřebou běžných svítidel => ušetření 60 – 80% nákladů na elektřině. Ideálně se používají do interiérových podhledů nebo jako zavěšená na strop, popř. i svisle na zeď.



Obr. 19 LED panel 56W [5]

LED reflektory – použití jak v interiérových, tak v exteriérových prostorech.



Obr. 20 LED reflektor – provedení 10 až 30 W [5]

LED bodová světla podhledová – různá provedení (1 – 45 W). Mají nízkou energetickou náročnost. Výhoda je, že se mohou nastavit na určitý směr svícení pomocí výklopného středu tělesa.



Obr.21 LED bodové světlo podhledové [5]

LED žárovky – mají tělo z hliníku, což plní funkci chladiče a jsou snadno recyklovatelné. Životnost oproti klasickým je neporovnatelně vyšší. Vysoká odolnost proti nárazům a vibracím. Mají téměř bezúdržbový provoz.

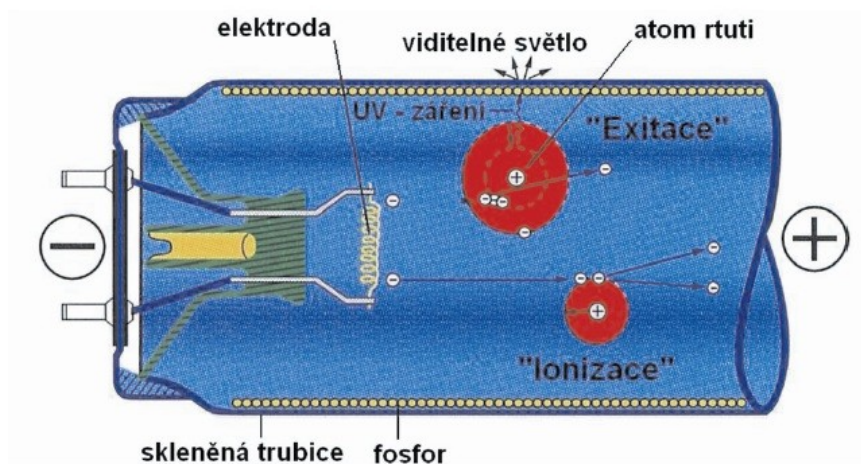


Obr. 22 LED žárovka [5]

3 Zářivky – popis a vlastnosti

3.1 Princip zářivky

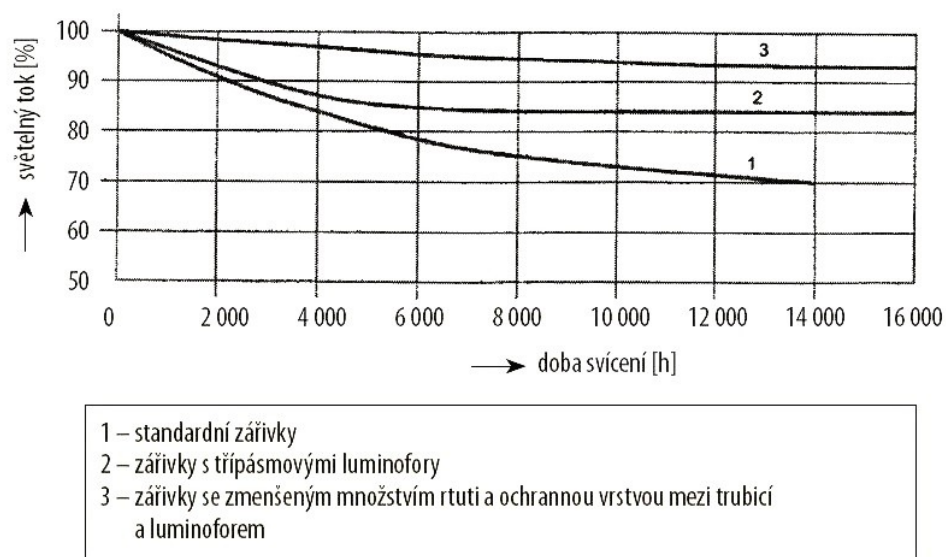
Zářivky jsou rtuťové nízkotlaké výbojky se žhavenými elektrodami. Skleněná trubice je naplněna rtutí a vzácným plynem. V parách rtuti vyzařuje nízkotlaký výboj asi jen 2% a v oblasti ultrafialového záření více než 60% přivedené energie. Část ultrafialového záření se přemění v zářivce pomocí luminoforu na viditelné záření, který je nanesen na vnitřní straně trubice v jedné nebo ve více vrstvách (spektrum světla vyzařované zářivkou je možné ovlivnit volbou luminoforu). Tato skleněná trubice je na obou koncích opatřena elektrodou, nosným systémem a kličkovou patičí. Kolem elektrody je umístěna ochranná clonka, nejčastěji z měkkého železa, která zabráňuje usazování rozprašující se a vypařující se emisní hmoty na vrstvě luminoforu. Přispívá tak ke stabilizaci světelného toku a neestetickému tmavnutí konců zářivek.



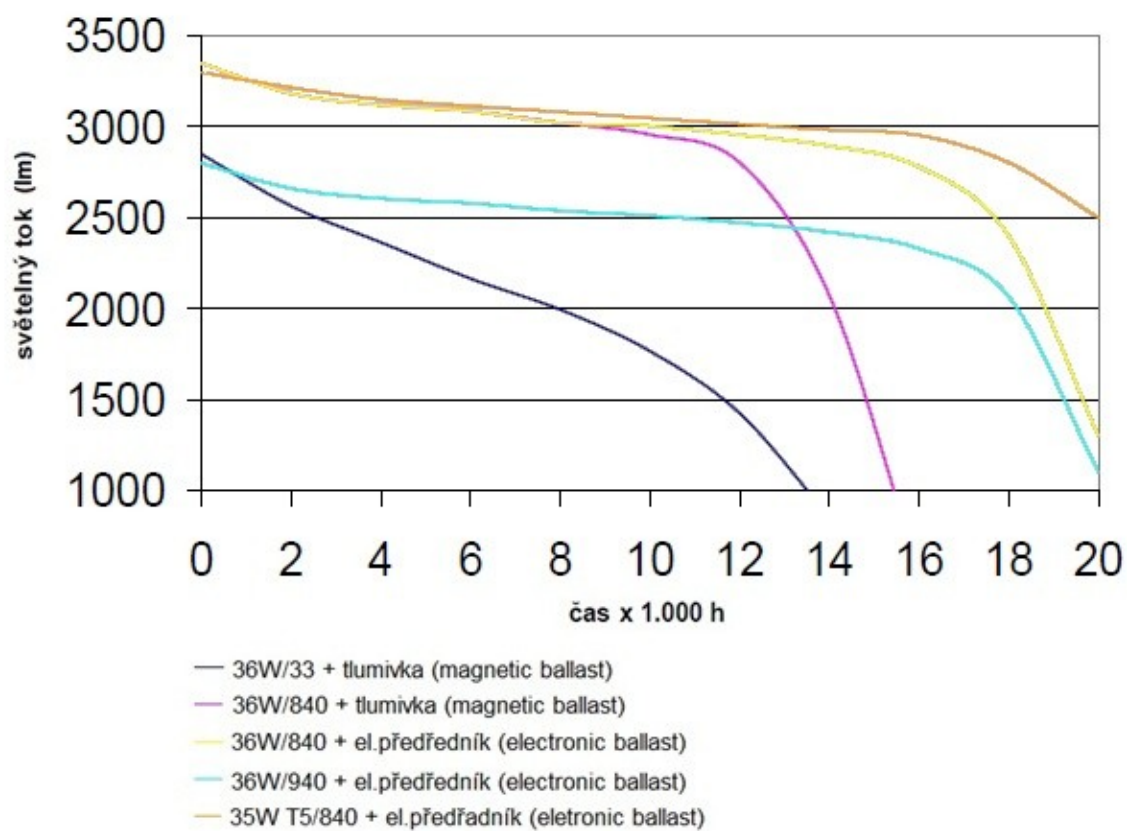
Obr. 23 Princip funkce zářivek [3]

3.2 Vlastnosti zářivek

Pro správnou funkci je třeba přítomnost malého množství rtuti, protože však dochází během svícení k jejímu úbytku, dodává se do zářivky v přebytku, z čehož plyne problém toxicity jak při používání, tak při likvidaci. Aby se tento faktor minimalizoval, jsou s ním spojeny další technologické procesy (dokonalá čistota vstupních materiálů, spolehlivost dávkování množství rtuti, zabránění absorpci rtuti sklem, které brání vrstva oxidu hlinitého nanesená pod vrstvou luminoforu, atd.). Z těchto opatření je mimo ekologičtější zářivky i zlepšena stabilita světelného toku během jejího života.

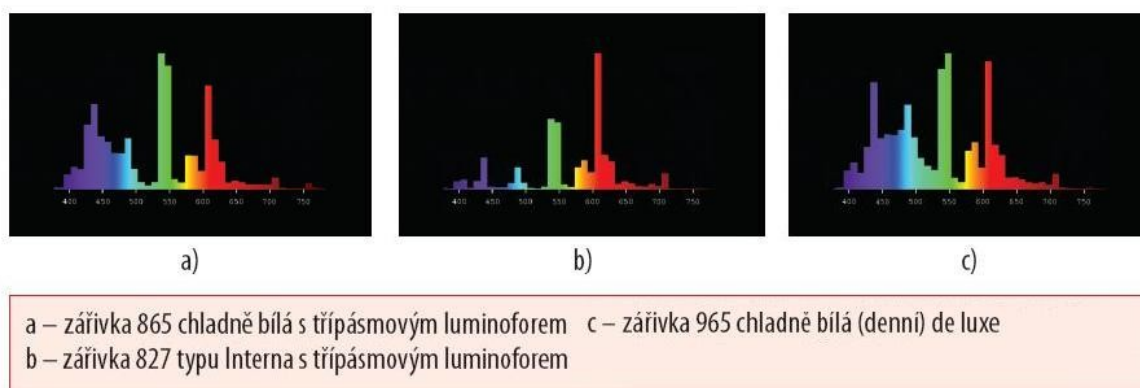


Obr. 24 Pokles světelného toku zářivek v průběhu svícení [4]

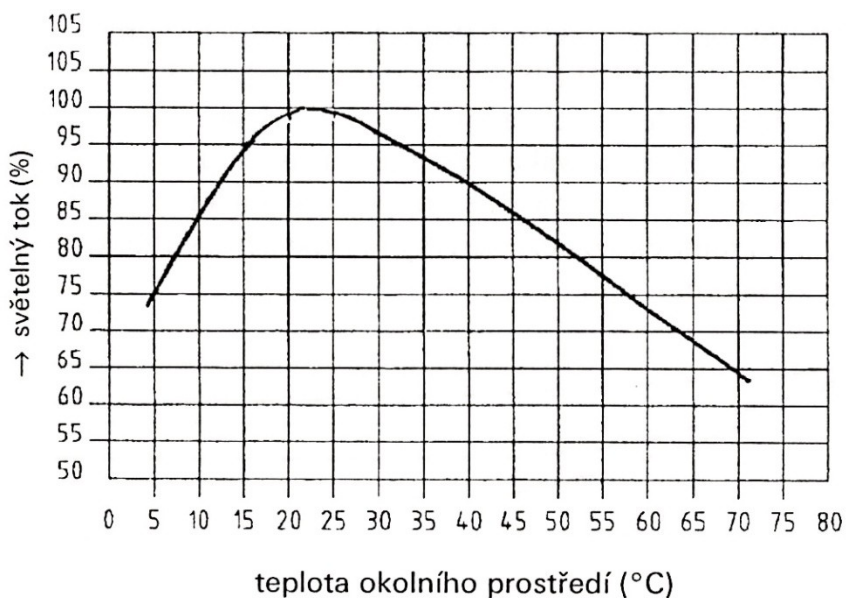


Obr. 25 Pokles světelného toku lineárních zářivek v průběhu života [11]

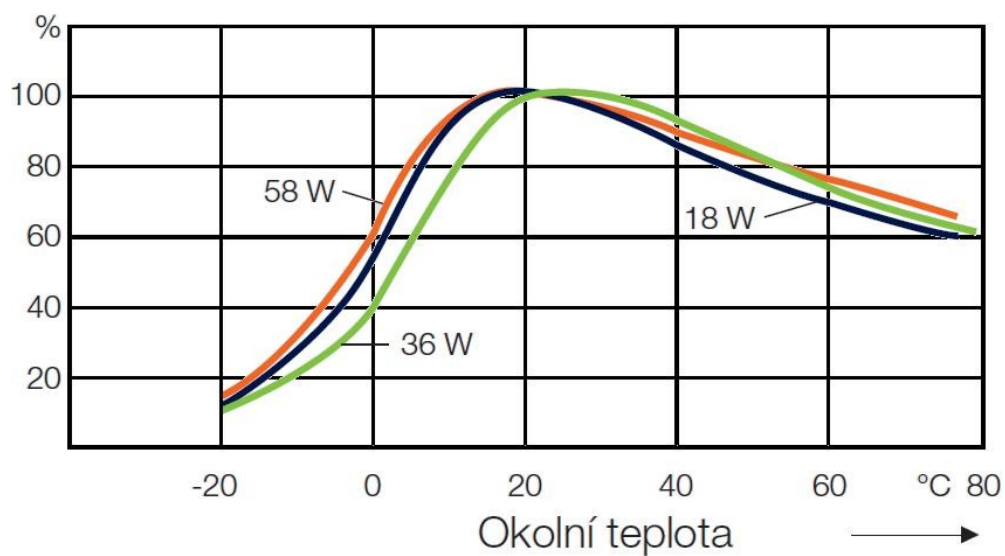
Optimální účinky zářivek jsou podmíněny několika faktory (výstup ultrafialového záření – rezonanční čáry 185 a 257,3 nm, tlak par rtuti, proudová hustota, tlak a druh plnicího neaktivního plynu). Z těchto faktorů se dále odvíjí i další geometrické a elektrické parametry zářivek. Dalším rozhodujícím parametrem je kvalita použitého luminoforu. Optimální hodnota z pohledu intenzity záření se dosahuje při 42°C a tomu odpovídající tlak 0,8 Pa. S rostoucí nebo klesající hodnotou teploty účinnost klesá. Z toho plyne, že zářivky jsou teplotně závislé a nehodí se pro osvětlování venkovních prostor. Zářivky se vyrábí v širokém spektru teplot (2 700 – 17 000 K) a s indexem podání barev 60 – 98.



Obr. 26 Příklady spekter jednotlivých typů zářivek (Osram)

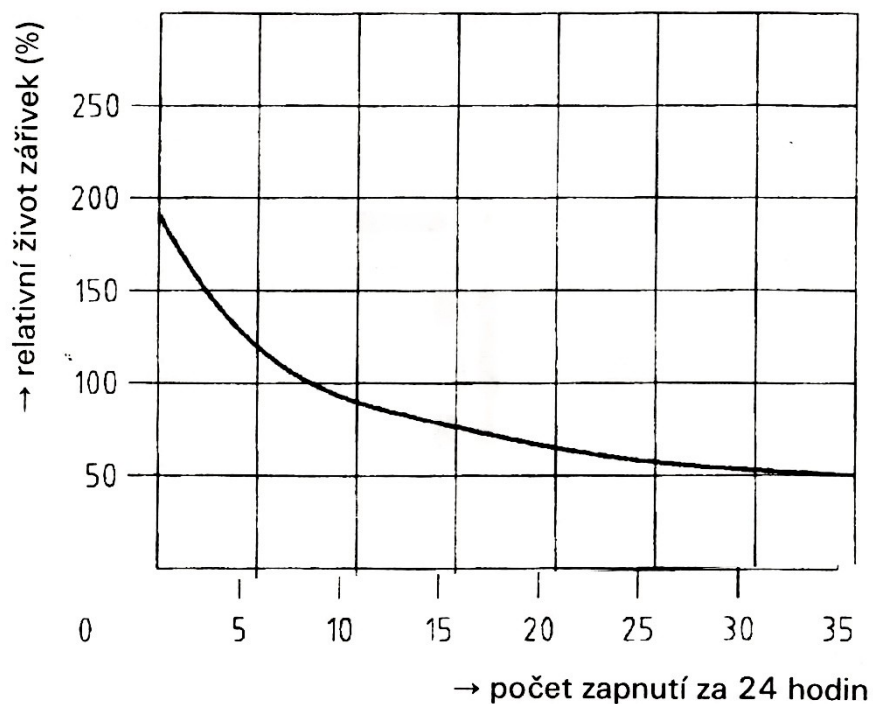


Obr. 27 Závislost světelného toku zářivky na teplotě okolního prostředí[4]



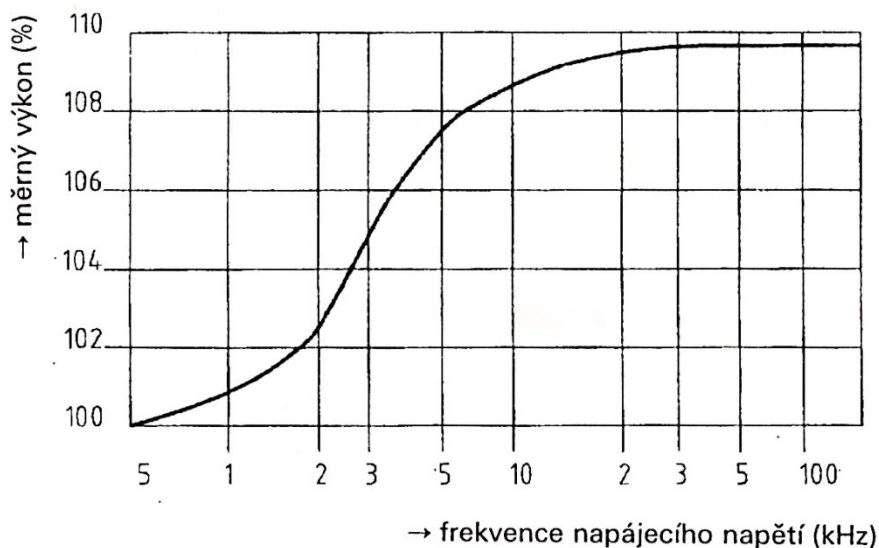
Obr. 28 Závislost světelného toku zářivek jednotlivých výkonů na teplotě okolního prostředí (Osram)[22]

Životnost zářivky omezuje také počet zapnutí. Zářivky nejsou vhodné do míst, kde dochází k častému zapínání a vypínání. Zářivky, na rozdíl od žárovek dosahují jmenovitých hodnot až cca po 3 minutách provozu.



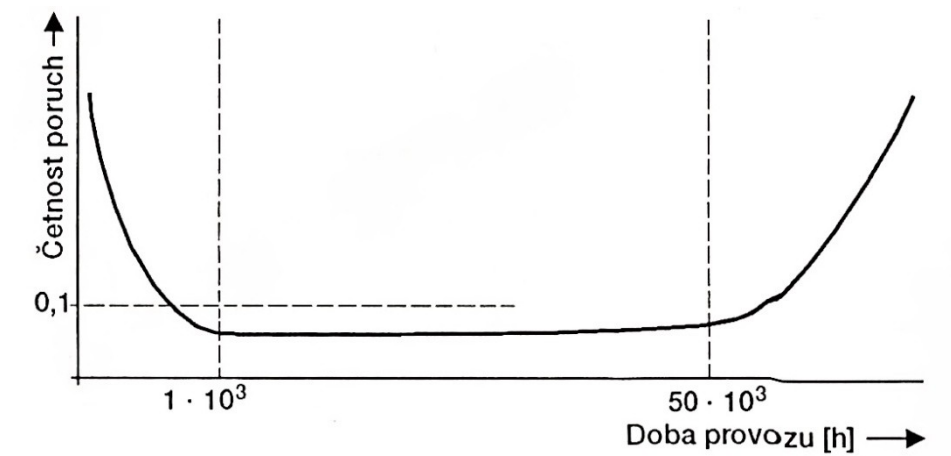
Obr. 29 Závislost života zářivek na počtu zapnutí[4]

Dalším pozitivním kritériem je zavedení předřadníků, které pracují na vysoké frekvenci. Zkvalitňují provoz osvětlovací soustavy a také její stabilitu. Tato frekvence je vyšší než 30 kHz a má další významné přednosti, mezi které patří například rychlý start bez blikání, šetrný ke katodě, stabilní svícení bez míhání (lidské oko je na něj při frekvenci 50 Hz ještě citlivé), úplné potlačení stroboskopického jevu, atd.



Obr. 30 Závislost měrného výkonu zářivky na frekvenci napájecího napětí [4]

S použitím klasického předřadníku je životnost zářivky okolo 10 000h, s předřadníkem elektronickým je to přibližně 18 000h. Pomocí elektrického předřadníku lze zářivky stmívat – regulovat světelný tok. Regulaci dělíme na tři základní druhy: stupňovité řízení, plynulé řízení v daném rozsahu a kontinuální řízení v rozsahu 0 – 100 %.



Obr. 31 Četnost poruch v závislosti na době provozu elektrického předřadníku[2]

4 Svítidla

Pro svítidla se vytvářejí taková konstrukční uspořádání, používají takové prvky a díly nutné pro upevnění a ochranu zdrojů, případně pomocné obvody, aby světelné zdroje se svými vlastnostmi byly použitelné pro osvětlovací účely.

Svítidlo má mít:

- světelné technické vlastnosti pro dosažení odpovídajícího prostorového rozložení světelného toku, případně umožňující změnu spektrálního složení světla zdroje
- elektrické vlastnosti pro spolehlivé připojení k elektrické instalaci a zajištění bezporuchového a bezpečného stavu
- aplikační vlastnosti pro provoz v daném prostředí bez důsledků negativního ovlivňování

4.1 Dělení svítidel:

I. Podle umístění:

- bytová
- kancelářská
- pro společné místnosti
- průmyslová (dílny)
- zdravotnická
- sportoviště
- zvláštní (divadla, filmová)



a)



b)

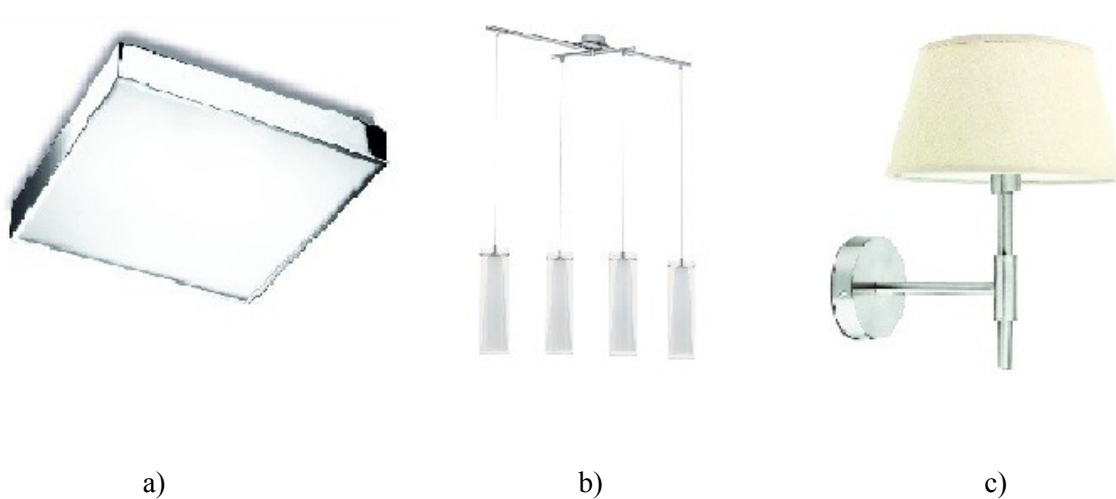


c)

Obr. 32 Typy svítidel dle umístění: a) bytové [12], b) zdravotnické [12], c) průmyslové [15]

II. Podle typu montáže:

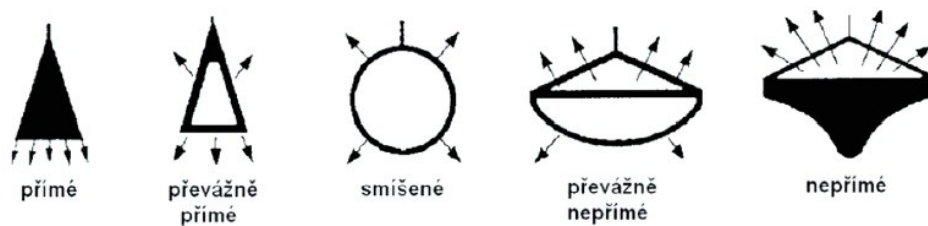
- stropní
- závěsná
- nástěnná
- stožárová, konzolová
- stojanová
- vestavená



Obr. 33 Typy svítidel dle typu montáže: a) stropní [15], b) závěsné [16], c) nástěnná [15]

III. Podle rozložení světelného toku:

Třída rozložení světelného toku	Název	$\Phi_{\text{přímý}} / \Phi_{\text{celkový}}$
I	Přímé	80 – 100 %
II	Převážně přímé	60 – 80 %
III	Smíšené	40 – 60 %
IV	Převážně nepřímé	20 – 40 %
V	Nepřímé	0 – 20 %



Obr. 34 Piktogramy rozložení světelného toku[3]

4.2 Optické systémy svítidel

Pro konstrukci svítidel se využívají vlastnosti materiálů, jak světelné, tak technické. Existují zrcadlový, rozptylový nebo smíšený odraz či prostup, popřípadě lom světla. Při zrcadlovém odrazu a lomu světla dochází k přesnému usměrnění světelného toku dle geometrické optiky.

4.2.1 Svítidla s rozptylovači (difuzory)

Tyto svítidla jsou učený především pro vnitřní osvětlení s čistým prostředím a světlými stěnami. Jako venkovní osvětlení se používají k osvětlení jen nenáročných komunikací. Svítidla jsou buď s uzavřeným difuzorem, nebo s neuzavřeným difuzorem. U svítidla s neuzavřeným difuzorem je problém s oslněním, toto svítidlo má však vyšší účinnost. Účinnost svítidla se pak vypočítá

$$\eta_{SV} = f_2 + f_1 \cdot \tau \cdot \kappa + f_1 \cdot \rho \cdot \kappa \cdot \psi \quad (3)$$

f_1 ... část světla dopadající na světelně činnou část difuzoru

f_2 ... část světla prostupující otvorem v difuzoru (u neuzavřených difuzorů)

τ ... činitel prostupu difuzoru

κ ... činitel mnohonásobných odrazů

ρ ... činitel odrazu vnitřního povrchu difuzoru

ψ ... činitel vazby povrchu s plochou A difuzoru s plochou A_0 výstupního otvoru

Účinnost dále závisí na optických vlastnostech difuzoru, na činiteli prostupu τ , méně pak závisí na tvaru difuzoru. Výhoda těchto typů svítidel je hlavně jejich výrobní jednoduchost, z čeho plyne i nízká cena.



Obr. 35 Světlo s rozptylovačem (uzavřený difuzor)[17]

4.2.2 Svítidla s difuzními reflektory

Rozdělení světelného toku difuzním reflektorem se realizuje vyzařováním jeho celého vnitřního povrchu. Využívají se mnohonásobné odrazy, což vede ke snížení účinnosti, obvykle okolo 0,6 až 0,8. Účinnost se pak vypočítá

$$\eta_{SV} = f_2 + f_1 \cdot \rho \cdot \kappa \cdot \psi \quad (4)$$

ρ ... činitel odrazu

$\kappa \cdot \psi$... vyjadřuje ztráty vlivem mnohonásobných odrazů (pro $r < 1$ je vždy menší než 1)

V moderních svítidlech se využívá nejrůznějších tvarů reflektorů, které jsou často ovlivňovány designérskými hledisky. Svítidla však nedovolují změnu svítivosti v širokých mezích. Výhoda svítidel s difuzními reflektory je jednoduchost a nízká cena. V porovnání se zrcadlovými reflektory je malá světelná účinnost.



Obr. 36 Svítidlo s reflektorem [17]

4.2.3 Svítidla se zrcadlovými reflektory

Světelné technické vlastnosti těchto svítidel závisí především na přesnosti tvaru plochy reflektoru a jejích odrazných vlastnostech. Reflektory bývají vakuově pokoveny hliníkem nebo se vyrábí z hliníkového plechu, který se chemicky leští. Účinnost svítidel se zrcadlovými reflektory se vypočítá

$$\eta_{SV} = f_2 + \rho \cdot f_1 \quad (5)$$

f_1 ... část světla dopadající na světelně činnou část difuzoru

f_2 ... část světla prostupující otvorem v difuzoru (u neuzavřených difuzorů)

ρ ... činitel odrazu vnitřního povrchu difuzoru

Jejich předností je velká světelná účinnost a možnost úpravy rozložení světelného toku. Používají se pro osvětlení vnější i vnitřní prostorů nebo u světlometů.



Obr. 37 Zrcadlový reflektor[18]

4.2.4 Svítidla s refraktorovými systémy

Jsou to svítidla využívající lom světla na rozhraní dvou prostředí (např. vzduch – sklo). Refraktory jsou konstruovány s vnitřní nebo vnější nosnou vrstvou, zde jsou vytvořeny lámavé hranoly. Účinnost určují tři základní faktory: pohltivost světla v celé tloušťce refraktoru, odrazy světla na vnější ploše hranolů a odrazy světla na vnitřní ploše hranolů. Celková účinnost bývá až 85%.

Do této skupiny svítidel se řadí i světlomety s čočkovými optickými systémy, které využívají Fresnelovy čočky.



Obr. 38 Refraktorové svítidlo[15]

4.3 Základní parametry svítidel

a) Světelný tok svítidla

Světelný tok ϕ_{SV} (upraven svítidlem) je dán rozdílem světelného toku všech světelných zdrojů ϕ_Z (ve svítidle) a ztraceného světelného toku ϕ_{ZTR} (ztracen při optickém zpracování). Světelný tok je udáván v lumenech.

b) Účinnost svítidla

Účinnost je vlastně hospodárnost svítidla. Je dána poměrem světelného toku svítidla ke světelnému toku světelných zdrojů.

$$\eta_{SV} = \frac{\phi_{SV}}{\phi_Z} \quad (6)$$

ϕ_{SV} - světelný tok svítidla

ϕ_Z - světelný tok všech zdrojů světla ve svítidle

Nejvyšší účinnost by měl mít holý zdroj v objímce, ale z důvodu oslnění to není možné použít. Proto mají běžná svítidla účinnost v rozmezí od 0,5 do 0,8. U LED svítidel se dosahuje hodnota přes 0,95.

c) Jas svítidla

Jas je podíl svítivosti a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé k uvažovanému směru a je udáván v $cd.m^{-2}$.

$$L_{\gamma} = \frac{I_{\gamma}}{A \cdot \cos \gamma} \quad (7)$$

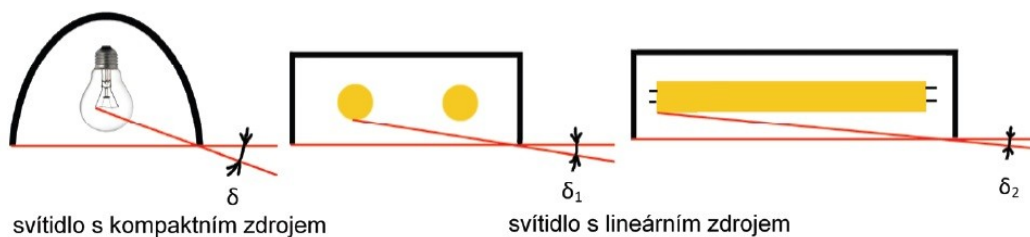
L_{γ} - svítivost svazku světelných paprsků (cd)

A - velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem (m^2)

γ - úhel, o který je viděná natočena od kolmice k ose pohledu

d) Úhel clonění

Úhel clonění δ udává míru zaclonění světelného zdroje svítidlem. To je nejmenší ostrý úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj svítidla se světelným zdrojem. U čiré zářivky se počítá její vlákno a u zářivky nebo výbojky je to povrch baňky.



Obr. 39 Úhel clonění u svítidla[3]

e) Křivky svítivosti

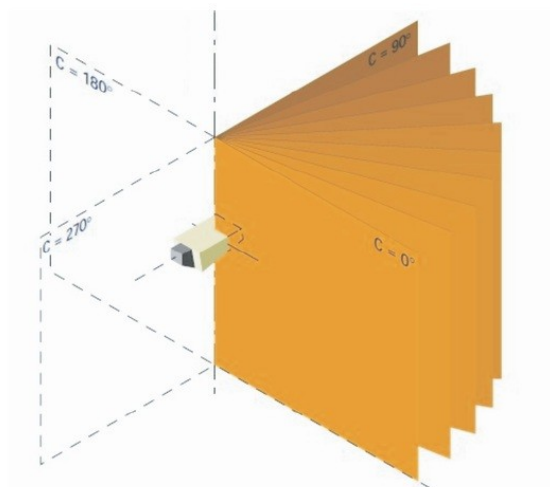
Křivky svítivosti jsou grafy svítivosti v jednotlivých směrech, udávané. Dají se najít v katalogu a představují způsob šíření světelného toku v prostoru. Z křivek svítivosti lze vyčíst třeba úhel clonění, směr maximální svítivosti, atd. Svítivost se vypočítá ze vzorce

$$I = \frac{\phi}{\Omega} \quad (7)$$

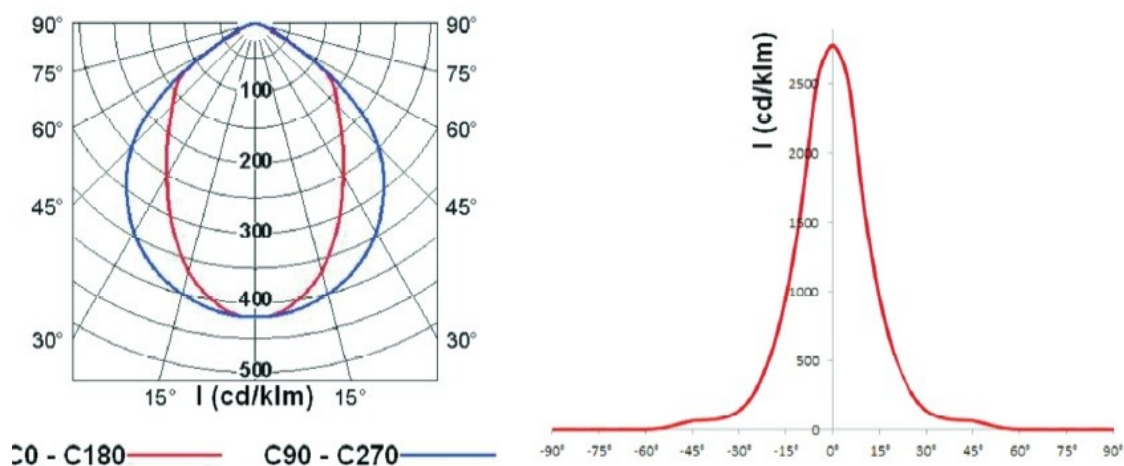
I - svítivost

ϕ - světelný tok

Ω - prostorový úhel






Obr. 40 Soustava měřících soustav C- γ (systém A- α , B- β) [3]



Obr. 41 Křivky svítivosti v polárních a pravouhlých souřadnicích [3]

f) Třídy ochrany svítidel

Z hlediska elektrické bezpečnosti jsou svítidla rozdělena do tří tříd:

- 1) **Třída ochrany I** – označení místa připojení ochranného vodiče ke svorce , používá se u všech kovových svítidel na nn
- 2) **Třída ochrany II** – označení , ochrana dvojitou nebo zesílenou izolací. Používá se nejen u celoplastových svítidel
- 3) **Třída ochrany III** – označení . Připojení pouze k SELV nebo PELV zdrojům, typicky halogenové žárovky na napětí 12V nebo LED

g) Ochrana proti vniknutí cizích těles, prachu a vlhkosti

Stupeň krytí je další důležitou vlastností svítidla. Značí se písmeny IP a dvěma čísly. První písmeno znamená stupeň ochrany před vniknutím cizích předmětů a před dotykem (v rozmezí 0 – 6), druhé písmeno značí odolnost proti vodě (0 – 8). Krytí určuje norma ČSN EN 60529.

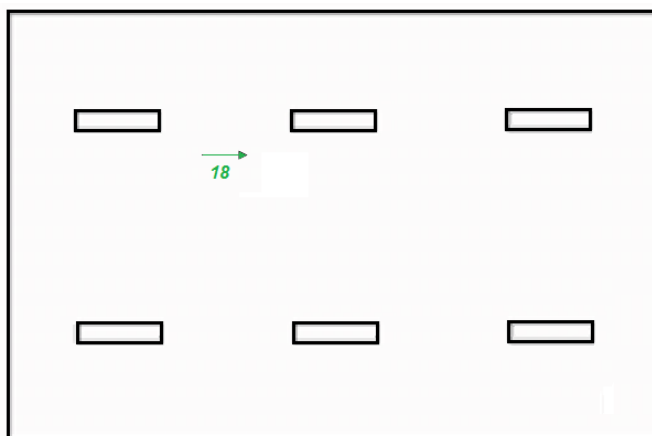
h) Ochrana proti mechanickému poškození

Značí se písmeny IK a dvěma čísly, od 00 do 10. IK je vlastně odolnost proti poškození, která je dána minimální nárazovou energií, kterou svítidlo bez porušení vydrží.

5 Metody výpočtů oslnění

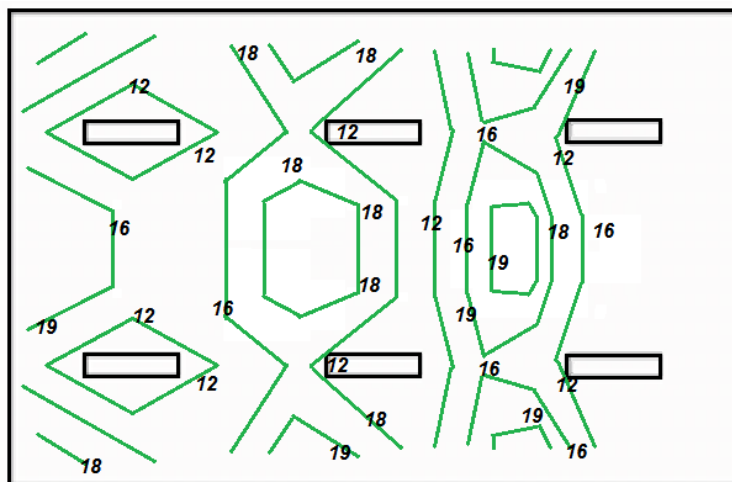
Podle normy EN 12464-1 se doporučuje tabulková metoda. Tahle metoda se používá u jednoduchých případů k rychlému stanovení hodnot oslnění v místnostech, které mají obdélníkový tvar. Určují se ve dvou základních a kontrolních bodech ve středu stěn a pohledech napříč místností. Hodnoty uváděné výrobcem v tabulce se musí téměř vždy korigovat dle parametrů místnosti, osvětlovací soustavy a pozorovatele, co je hlavní nevýhodou této metody. Další nevýhodou je to, že se tato metoda nedá použít pro místnosti různých tvarů ani pro nepravidelné rozmístění svítidel nebo jejich různé orientace. Kvůli těmto nevýhodám se využívá přímý výpočet indexu UGR. V požadovaných směrech, bodech a v místnostech s libovolnými tvary. Jako vstupní hodnoty pro tento výpočet jsou potřebné v podstatě stejné hodnoty jako pro výpočet osvětlenosti, který je také nutno provést (tato možnost je uvedena ve změně 1 ČSN EN 1246-1 / říjen 2005).

Pro případy, kde pracovník vykonává určitou práci na určitém místě a jeho pohled je směřován jistým směrem, je výpočet a jeho prezentace snadný. Jen se spočítá hodnota indexu UGR v jednom bodě a následně se porovná s dovolenou hodnotou. V tomto případě je však nutné popsat uvažovaný směr pohledu (např. pomocí úhlů). Tento případ ani nepotřebuje grafickou prezentaci, stačí případně vykreslit umístění pracovního úkolu a směr pohledu.



Obr. 42 Index oslnění v daném místě a směru pohledu [10]

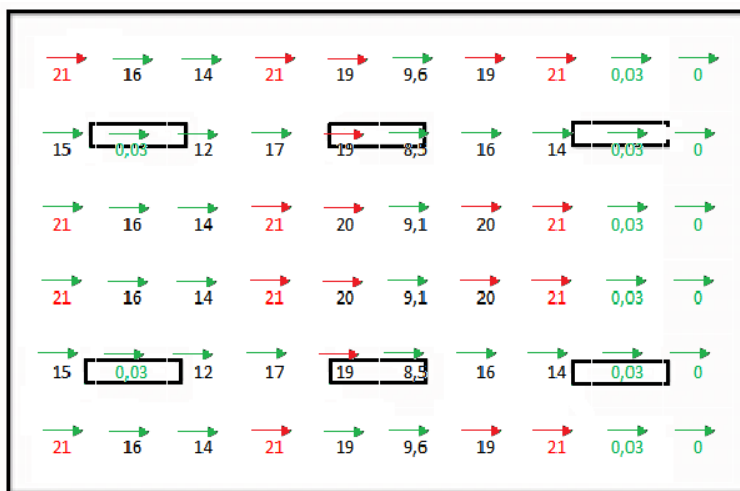
U složitějších případů, kde je sice dán směr pohledu, ale pozorovatel se může pohybovat v různých částech místnosti (učebny, divadla, průmyslové prostory), je třeba výpočet hodnoty indexu UGR ověřit v různých bodech současně. Z toho se určí ve kterých bodech je hodnota oslnění vyhovující a ve kterých naopak ne. Výsledkem je tabulka hodnot UGR v jednotlivých bodech. Může být i prezentována tzv. izofotním diagramem.



Obr. 43 Rozložení hodnot indexu oslnění při zadaném směru [10]

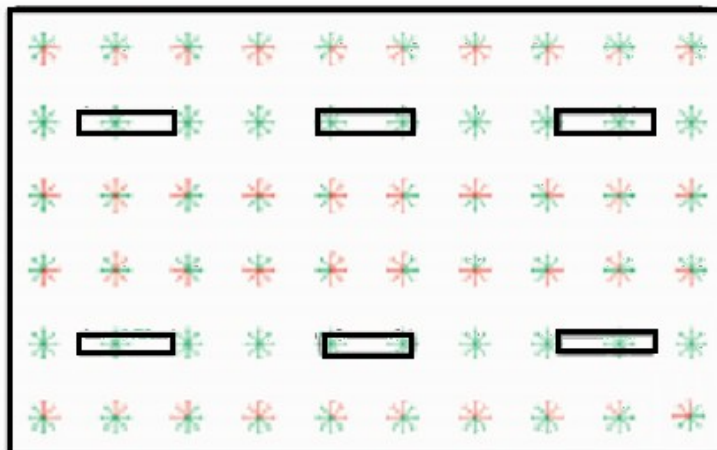
Tento diagram je vhodný zejména tam, kdy směr pohledu je dán jednoznačně a pozorovatel se může pohybovat ve větším prostoru. Snadno se dají určit různé požadavky na omezení oslnění v různých částech prostoru.

V jiných případech se dá využít již zmíněná metoda zobrazení. Při určité hodnotě UGR se v určitých místech místnosti, kde hodnota UGR vyhovuje, naznačí zelená šipka a v místech kde nevyhovuje naopak šipka červená.



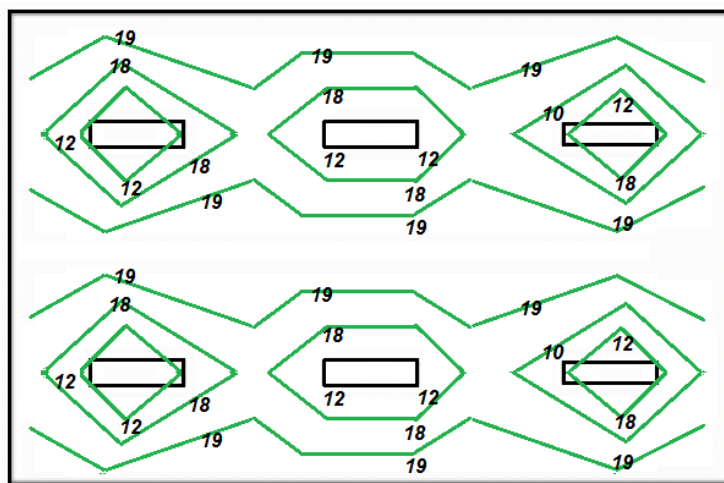
Obr. 44 Rozložení indexu oslnění při zadaném směru pohledu a zadané mezí hodnotě $UGR_{max} = 19$ [10]

V praxi se však vyskytují i případy, kdy směr pohledu není konstantní – směr pohledu pozorovatele se během činnosti mění. Nebo se tenhle způsob uplatňuje v prostorech, kde ještě není známa orientace pracovišť. Výpočetní program zpravidla nemá problém vypočítat hodnoty indexu UGR i do více směrů (zjednodušený výpočet – sklon pohledu a vodorovná rovina je konstantní, omezený počet hodnot s úhlovým přírůstkem). Vyjádření výsledků se dá dosáhnout dvěma způsoby. První je to izofotní diagram a druhý způsob je diagram se šípkami – uspořádání do růžice (tzv. značkami oslnění).



Obr. 45 Rozložení indexu oslnění při zadaném mezí hodnotě a libovolném směru pohledu [10]

Protože je izofotní diagram vyhodnocen pro maximální z počítaných osmi hodnot v každém bodě, bývá často symetrický. Tento diagram se používá k vymezení oblastí bez problému s oslněním a v oblastí, kde problémy vznikají – především v závislosti na směru pohledu.



Obr. 46 Rozložení indexu oslnění při libovolném směru pohledu [10]

6 Měření a porovnání světelných zdrojů a svítidel

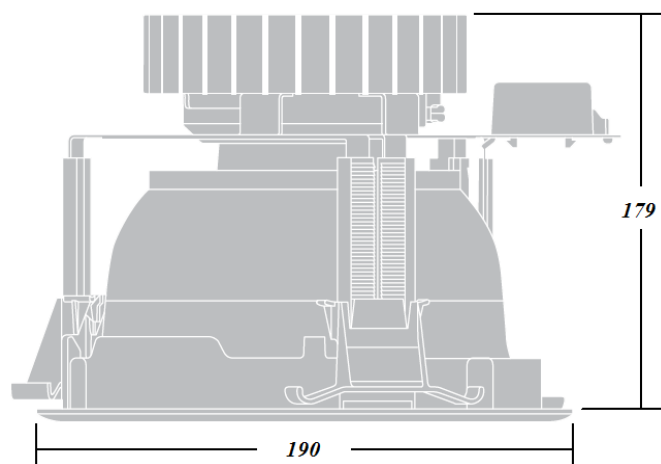
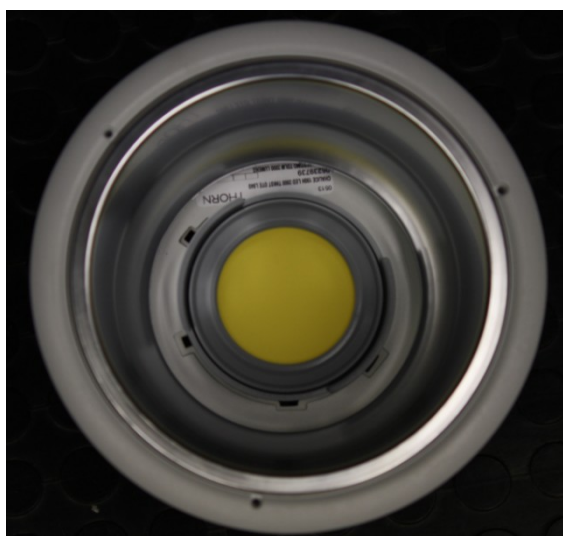
Porovnával jsem zdroje a svítidla moderních LED a klasické zářivky na základě křivek svítivosti a jasové analýzy. Změřené a vypočítané hodnoty jsem dosadil do tabulek a vynesl do grafů.

6.1 Porovnání vnitřních svítidel THORN Chalice

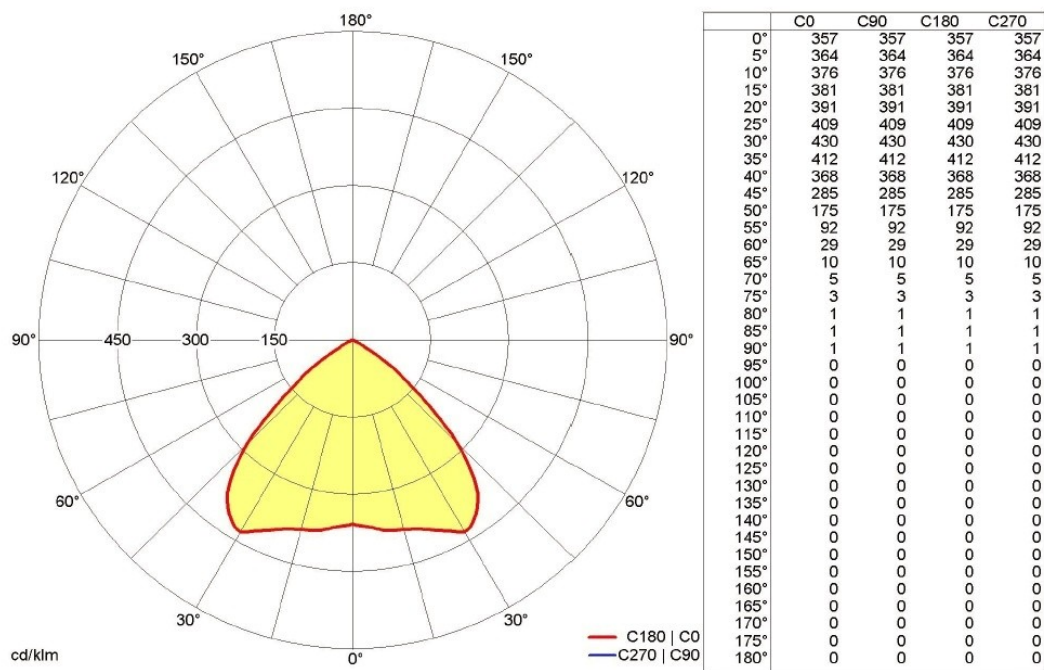
V měření je porovnáno moderní svítidlo do vnitřních prostor s LED zdrojem s klasickým vnitřním svítidlem se zářivkovým zdrojem. Obě světla mají stejné rozměry, průměr 16,9 cm. Obě svítidla vyzařují totožný světelný tok 2000 lm.

THORN Chalice 190H LED

Svítidlo značky THORN, typu Chalice, LED, určené do interiéru.



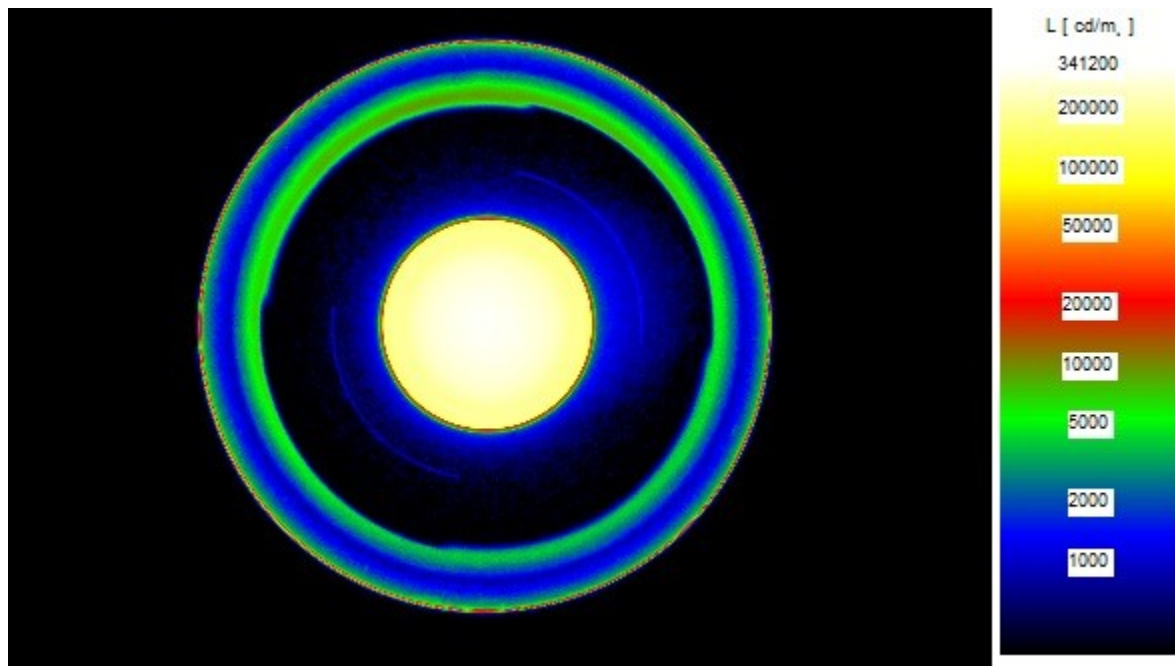
Obr. 47 Thorn Chalice 190H LED



Obr. 48 Křivka svítivost Thorn Chalice LED

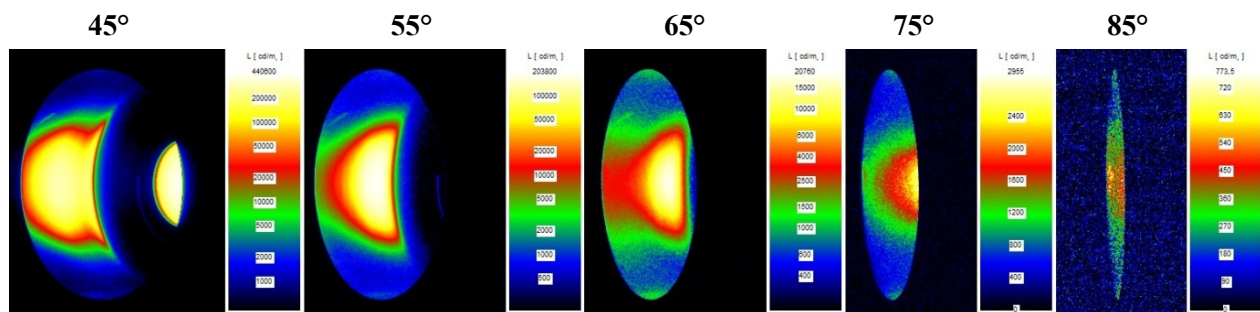
6.1.1 Jasové fotografie LED svítidla

Jasové fotografie jsou pořízené digitálním fotoaparátem a následně vyhodnocené v programu LMK Soft.



Obr. 49 Jas pod úhlem 0°: $L_o=341\,200\text{ cd/m}^2$

Jasy pod jednotlivými úhly:



Obr. 50: Jasové mapy

Z měření jsem zjistil, že světelný zdroj je vidět ještě pod úhlem 45° , při tomto úhlu je dokonce jas zdroje větší než jas při 0° , to znamená, že se zdroj nechová jako ideální Lambertův zářič. Při úhlu 55° již zdroj vidět není, ale zrcadlový odraz je stále velice silný a maximální jas je vysoký. Se zvětšujícím se úhlem hodnoty jasu klesají.

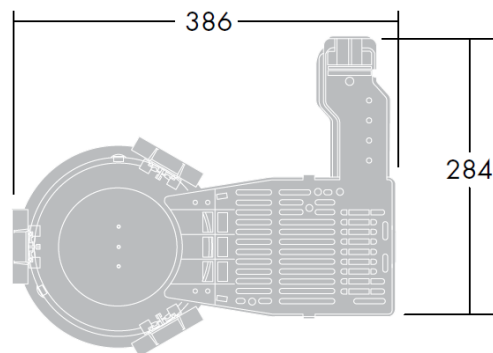
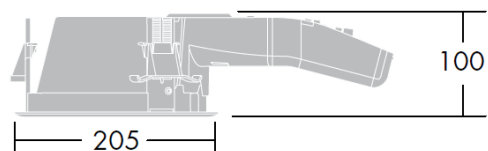
Tab. 2: Změřené hodnoty

Úhel γ	$L_{\max} (\text{cd/m}^2)$	$L_{\text{av}} (\text{cd/m}^2)$	$L_v (\text{cd/m}^2)$
45°	440 600	51 970	41469
55°	203 800	18 890	16503
65°	20 760	3 224	2435
75°	2 955	1 074	1193
85°	774	276	1181

Hodnoty v tabulce jsou pro maximální hodnoty jasu L_{\max} , střední hodnoty jasu L_{av} odečtené z programu LMK Soft a hodnoty střední – vypočítané L_v pomocí křivky svítivosti dle vzorce $L = \frac{I}{S \cdot \cos \gamma}$.

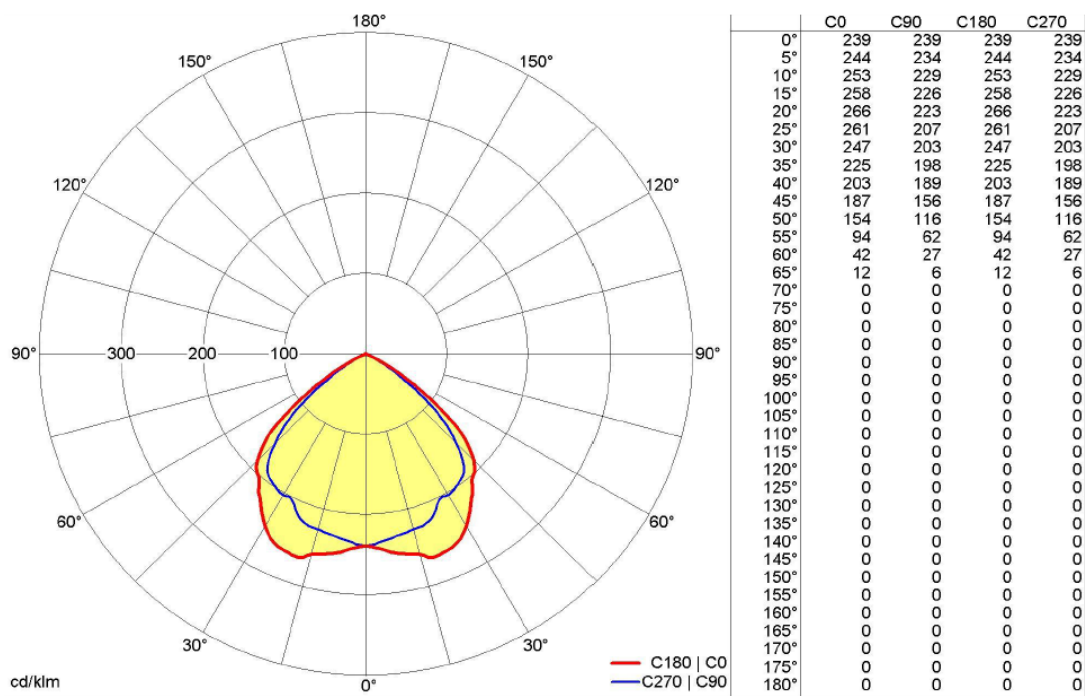
THORN Chalice 2x26W

Svítidlo firmy THORN zářivkové, určené do vnitřních prostor.



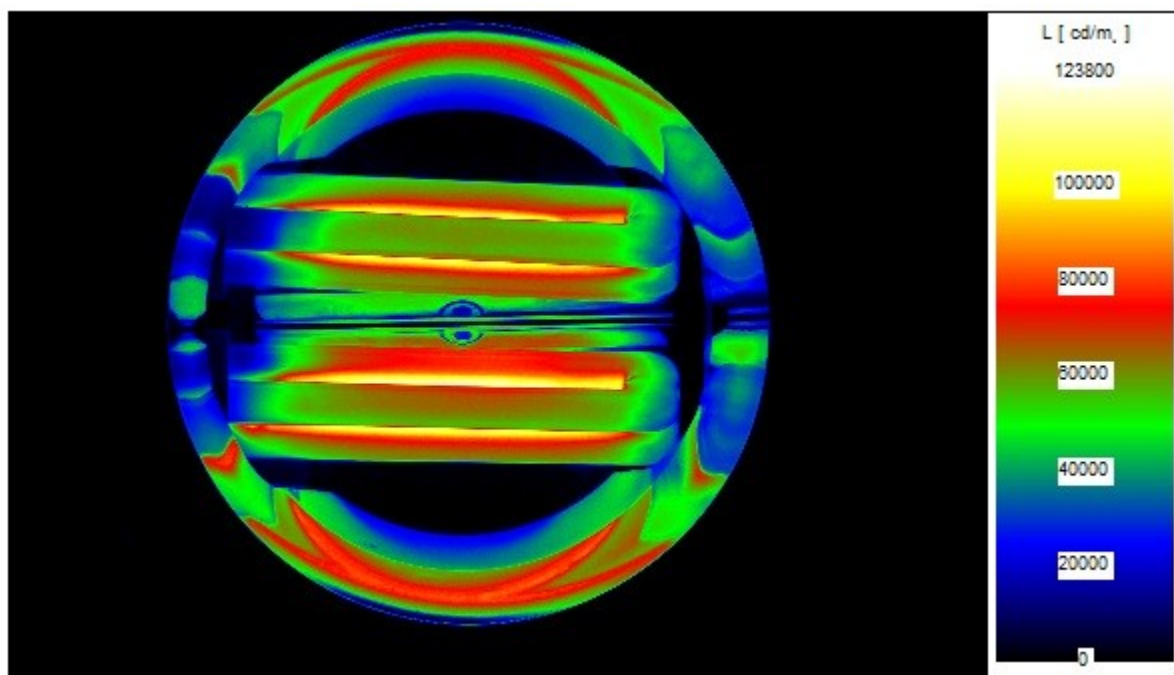
Obr. 51 Thorn Chalice 2x26W

Křivka svítivosti tohoto svítidla se zářivkovým zdrojem je velice podobná křivce svítivosti s LED zdrojem, jen s tím rozdílem, že zářivkové svítidlo není rotačně symetrické a proto se uvádí dvě křivky.



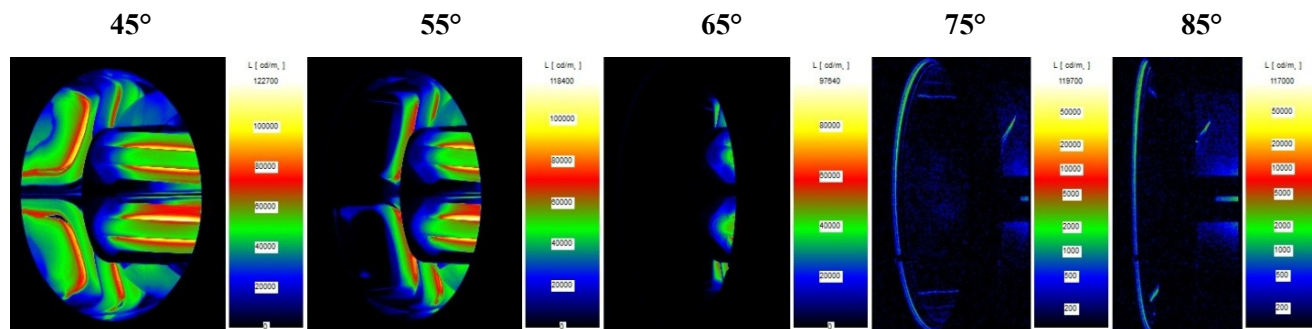
Obr. 52 Křivka svítivosti Thorn Chalice zářivky 2x26W

6.1.2 Jasové fotografie zářivkového svítidla



Obr. 53 Jas pod úhlem 0°: $L_o = 123\,800 \text{ cd/m}^2$

Jasy pod jednotlivými úhly:



Obr. 54: Jasové mapy

Z obrázků a naměřených hodnot je vidět, že světelný zářivkový zdroj je viditelný do úhlu 65° a v hodnotách 55° a 65° má svítidlo díky tomuto vyšší maximální jas než svítidlo LED. Maximální hodnoty v 75° a 85° jsou odrazy od okraje svítidla. U obrázků při 75 a 85° už není téměř žádný odraz zdroje a je vidět nepatrný šum, což je způsobeno logaritmickým měřítkem, které je použito kvůli lepší vizualizaci obrázku.

Tab.3: Změřené a vypočítané hodnoty

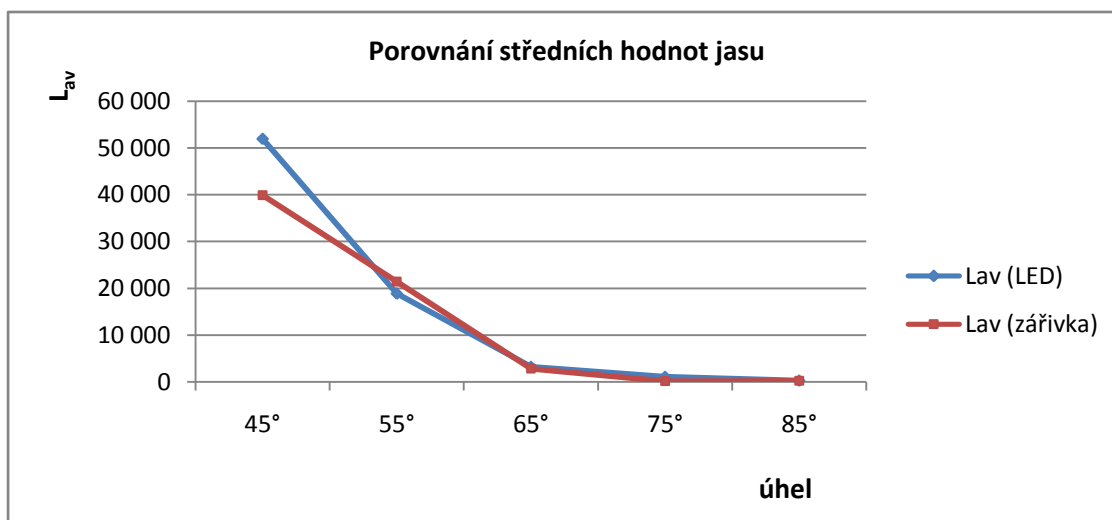
Úhel γ	L_{\max} (cd/m ²)	L_{av} (cd/m ²)	L_v (cd/m ²)
45°	122 700	39 920	22699
55°	118 200	21 460	11122
65°	71 790	2 867	1461
75°	3 673	170	40
85°	3 726	253	118

Hodnoty v tabulce jsou pro maximální hodnoty jasů L_{\max} , střední hodnoty jasů L_{av} odečtené z programu LMK Soft a hodnoty střední – vypočítané L_v pomocí křivky svítivosti dle vzorce $L = \frac{I}{S \cdot \cos \gamma}$.

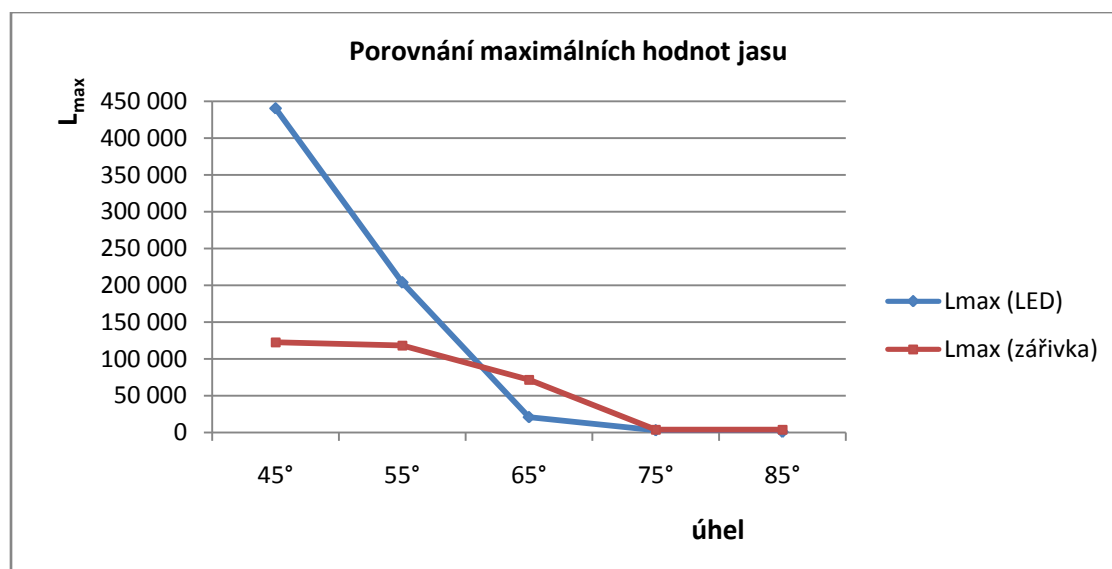
V tabulce a v následných grafech porovnávám střední a maximální hodnoty jasů svítidla s LED zdrojem a svítidla se zářivkovým zdrojem světla.

Tab.4: Porovnání středních a maximálních hodnot jasů

Úhel γ	L_{av} (LED)	L_{av} (zářivka)	L_{\max} (LED)	L_{\max} (zářivka)
45°	51 970	39 920	440 600	122 700
55°	18 890	21 460	203 800	118 200
65°	3 224	2 867	20 760	71 790
75°	1 074	170	2 955	3 673
85°	276	253	774	3 726



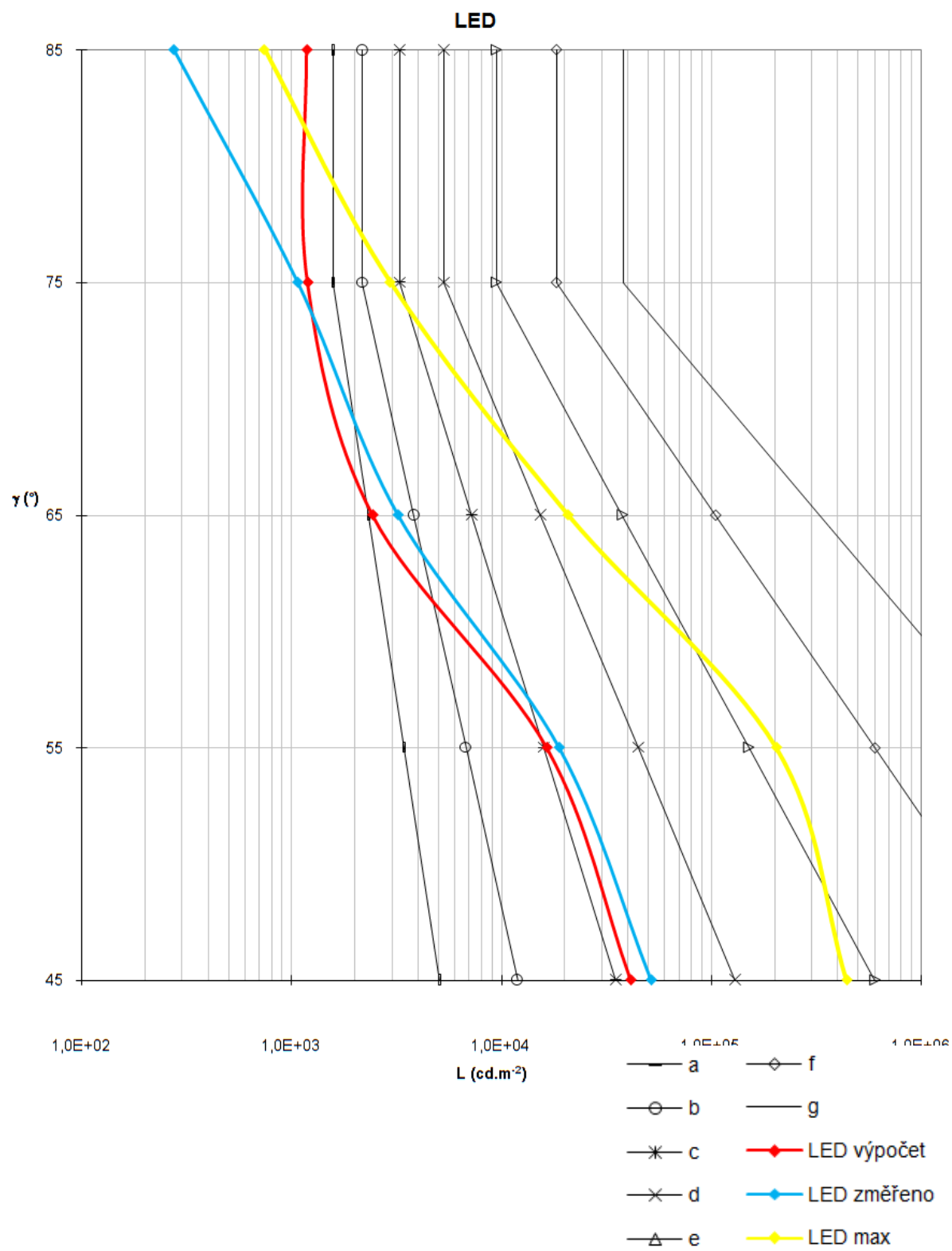
Obr. 55: Porovnání středních hodnot jasu LED a zářivek



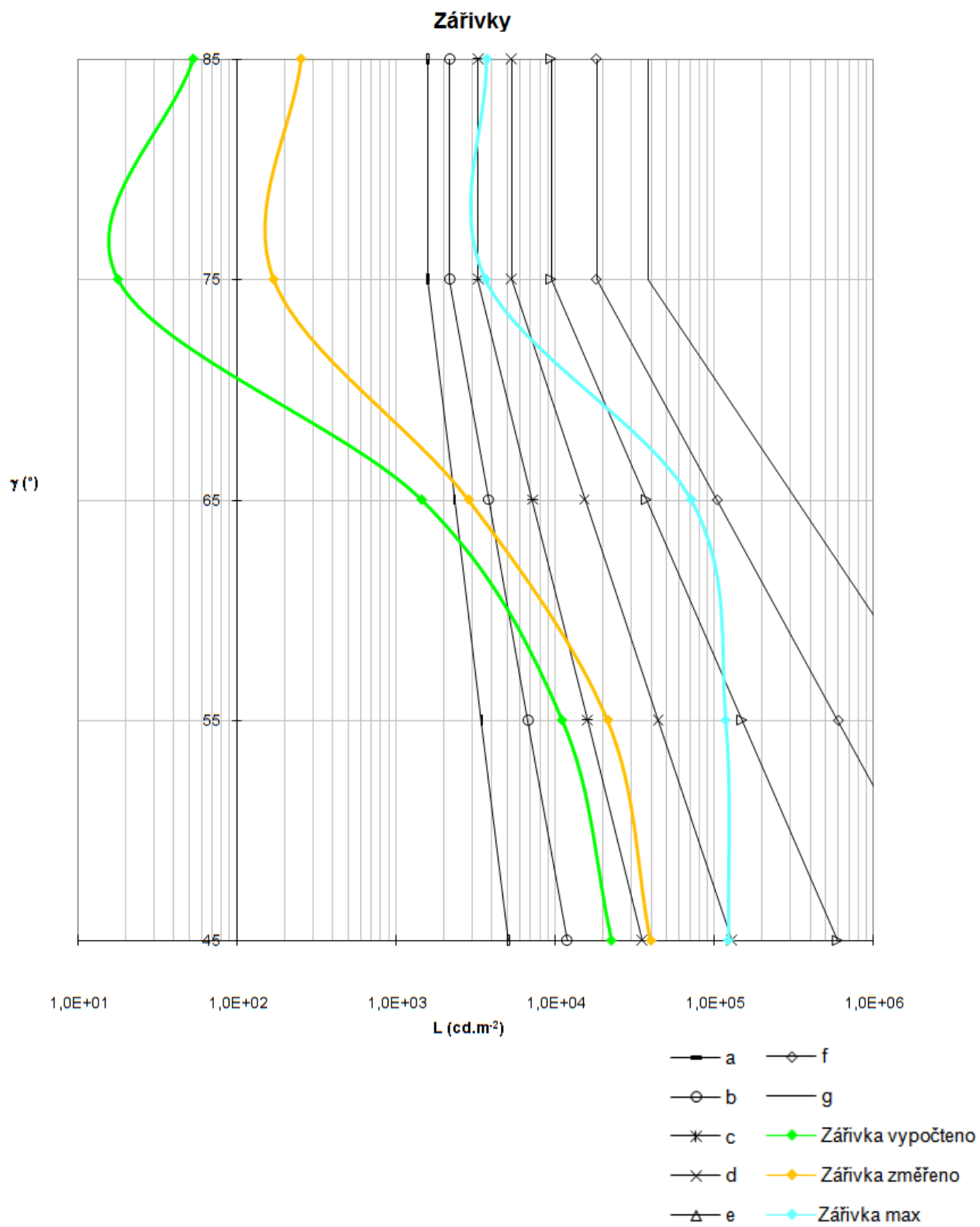
Obr. 56: Porovnání maximálních hodnot jasu LED a zářivek

Z grafu středních hodnot jasů je vidět, že jsou hodnoty obou vnitřních svítidel téměř totožné. Maximální hodnotu ve 45° má LED svítidlo daleko větší hodnotu jasu než svítidlo zářivkové. V 65° a 75° má maximální hodnotu větší svítidlo zářivkové, a to je způsobeno tím, že v těchto úhlech jde stále vidět světelný zářivkový zdroj.

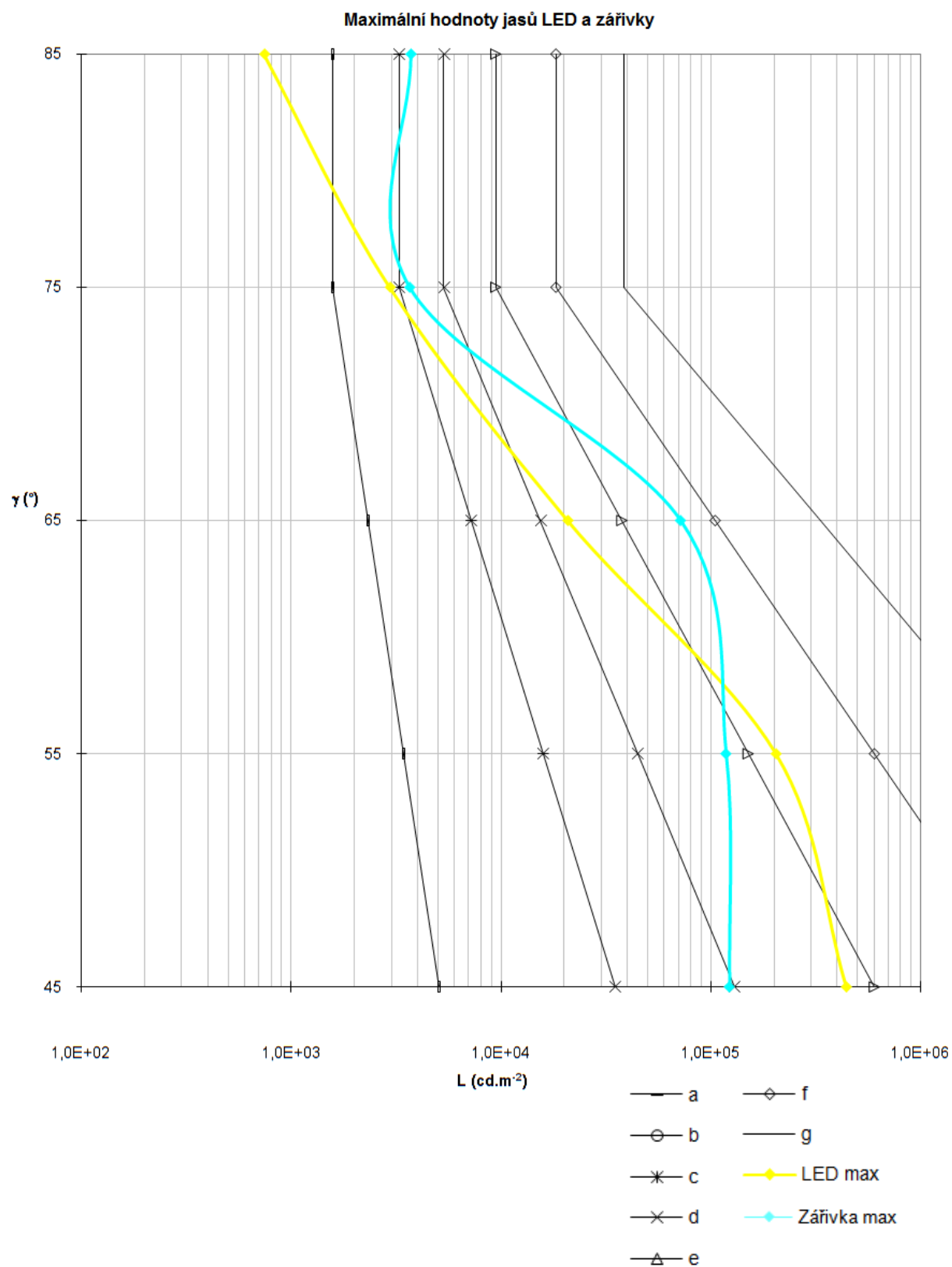
6.1.3 Mezní čáry jasů



Obr. 57: Mezní čáry jasů – LED



Obr. 58: Mezní čáry jasů – zářivky

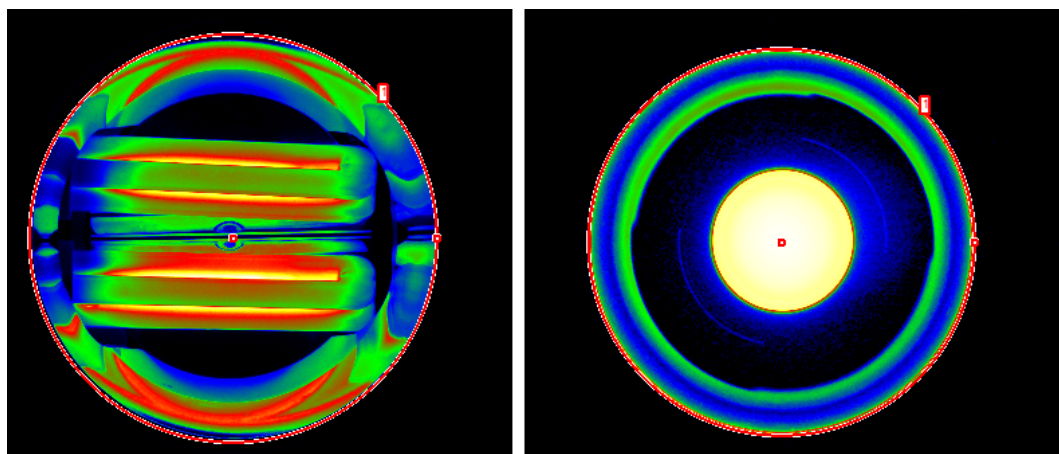


Obr. 59: Mezní čáry jasů – porovnání maximálních hodnot LED a zářivek

Grafy mezních hodnot jasů ukazují hodnotu jasů při jednotlivých úhlech. Měřítka jasů na „x“ souřadnici je logaritmické kvůli velkému rozsahu hodnot. U LED svítidla vypočítané i změřené střední hodnoty jasů zasahují ve 45° a 55° do třídy oslnění „C“. V maximální hodnotě při 55° až do třídy „E“. U zářivkového světla jsou střední hodnoty změřené a vypočítané o třídu rozdílené. Změřené dosahují v 45° a 55° třídy oslnění „C“, vypočítané však o třídu méně. To může být způsobeno mírnou odchylkou ve výrobě nebo chybnými údaji od výrobců pro světelně činnou plochu svítidla. Maximální hodnota se u zářivkového svítidla v 65° a u svítidla LED v 55° řadí dokonce až do třídy „F“.

6.1.4 Závěr:

Měření spočívalo v porovnání jasů při 0° a při úhlech 45°, 55°, 65°, 75° a 85°. Svítidla byla umístěna na fotometrické lavici ve vzdálenosti 3m od jasového analyzátoru LMK Mobile advanced. Pro zpracování jasových fotografií jsem pracoval s programem LMK Soft. Z programu jsem zjistil maximální a průměrné hodnoty jasů v jednotlivých úhlech. Tyto hodnoty jsem bral z celé plochy svítidla (viz.obrázek – celou vnitřní část svítidla, ohraničenou červenou kružnicí).



Obr. 60: Vymezení měřených svítidel – vyznačení regionů

Z měření je patrné, že jas u LED svítidla je daleko vyšší než u zářivek a jde u nich vidět odraz světelného zdroje ve všech úhlech. U zářivkového svítidla tento odraz není tak výrazný. Oproti svítidlu LED jde světelný zdroj vidět až do úhlu 65° a proto má v tomto úhlu maximální hodnotu jasů jasně vyšší než svítidlo LED. Maximální hodnoty u zářivkového svítidla v 75° a 85° jsou odrazy zdroje od okraje svítidla, a proto jsou výsledné hodnoty mírně zkresleny. Poměr maximální a střední hodnoty je u LED daleko vyšší a tak vzniká větší oslnění. Je to také dáno tím, že LED zdroj má menší světelně činnou

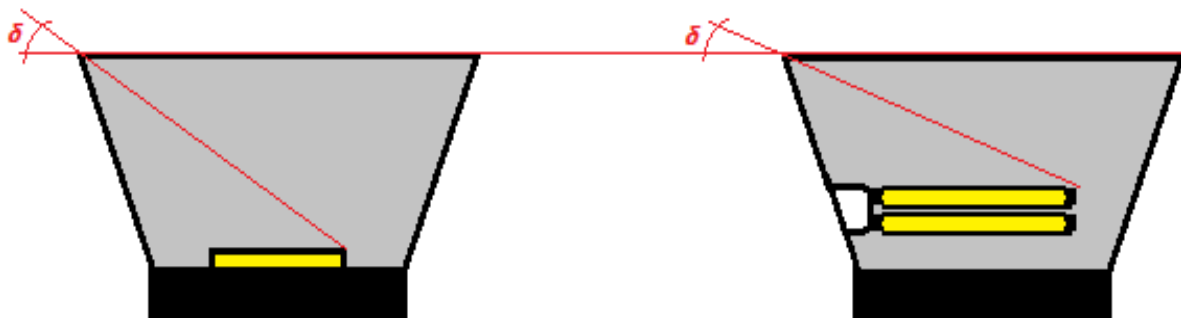
plochu. V grafu mezních čar jasů jsem porovnal hodnoty změřené jasovým analyzátozem společně s hodnotami vypočítanými dle vzorce $L = \frac{I}{S \cdot \cos \gamma}$, kde I je svítivost a S plocha vyzařování, která se se zvětšujícím se úhlem zmenšuje. Porovnal jsem jak hodnoty střední, tak i maximální.

6.1.5 Závěrečné srovnání obou svítidel Thorn:

	tok svítidla	tok zdroje	η svítidla	výkon	svět. výkon	R_a	cena
LED	2000 lm	2200 lm	0,90	32 W	62 lm/W	82	999,86 Kč
Zářivky	2000 lm	3600 lm	0,61	2 x 26 W	38 lm/W	80	452,51 Kč

Pozn.: ceny svítidel jsou orientační

Z této tabulky je patrné, že LED svítidlo má lepší účinnost, nižší výkon, vyšší světelný výkon, ale tok zdroje má LED nižší, což je dáno menší plochou zdroje. Index podání barev mají obě svítidla téměř stejný. Přes lepší parametry a nižší spotřebu el. energie je LED svítidlo dražší a způsobuje větší oslnění. Úhel clonění je u LED svítidla daleko větší, protože zářivky jsou umístěny výš než LED.



Obr. 61: Úhel clonění pro jednotlivá svítidla

6.2 Porovnání bodových LED s prizmatickým krytem a bez něj

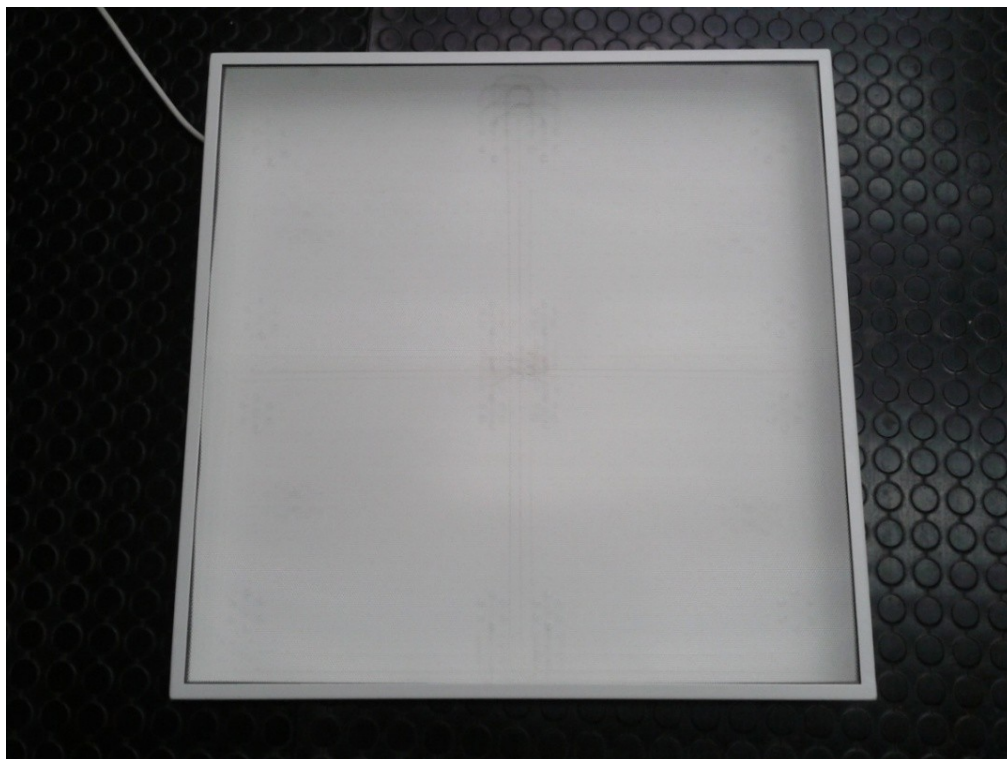
V tomto měření jsem chtěl zjistit, jak velký vliv má na snížení jasu u bodových LED použití prizmatického krytu svítidla. Porovnával jsem maximální a střední jasy čtvercové svítidla Hormen s prizmatickým krytem a LED panel s bodovým zdrojem světla, kde jeden světelný model je tvořen třemi čipy.

Svítidlo LED čtverec Hormen s prizmatickým krytem

Velikost: 60 x 60 cm

Optická část: 56 x 56 cm

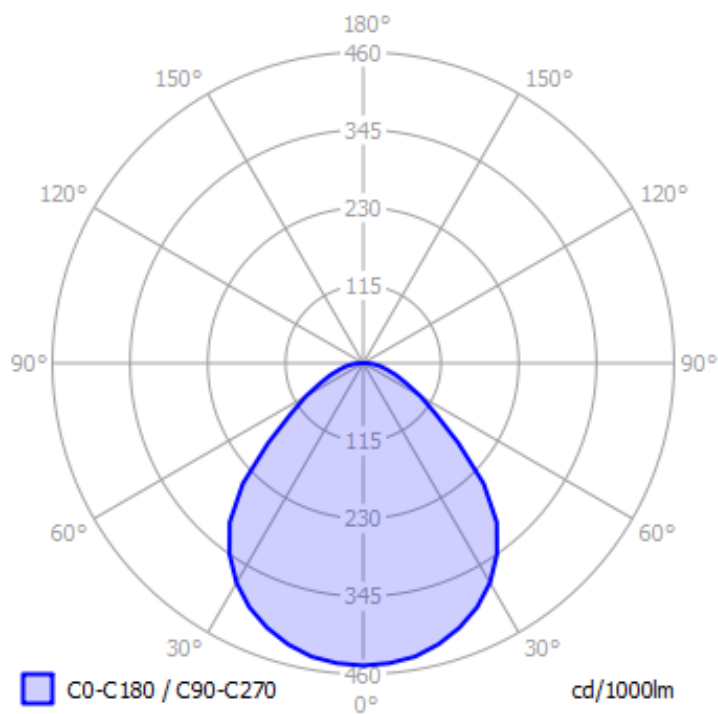
Výška: 7 cm



Obr. 62: Fotografie měřeného LED svítidla Hormen s prizmatickým svítidlem

Další naměřené a vypočtené hodnoty

- příkon $P = 49,8 \text{ W}$,
- tok svítidla $\Phi_s = 5200 \text{ lm}$,
- osvětlenost $E = 112,1 \text{ lx}$
- měrný výkon svítidla $\eta_v = 104 \text{ lm/W}$,
- náhradní teplota chromatičnosti $\text{CCT} = 4149 \text{ K}$,
- index podání barev $\text{Ra} = 84,38$



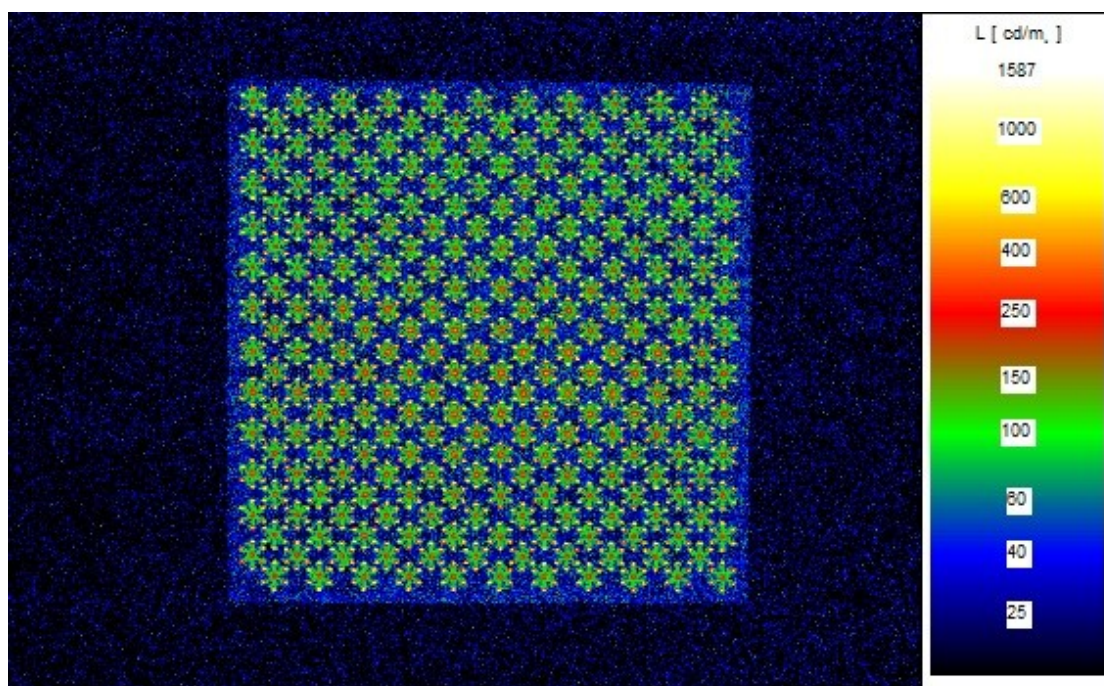
Tab. 4 Tabulka svítivosti

$\gamma [^\circ]$	$I [\text{cd/klm}]$
0	447.4
5	445.6
10	440.9
15	430.5
20	416.4
25	398.6
30	375.1
35	345.0
40	307.4
45	251.9
50	183.3
55	130.7
60	97.8
65	69.6
70	51.7
75	35.7
80	25.4
85	14.1
90	3.8

Obr.: 63: Křivky svítivosti svítidla Hormen

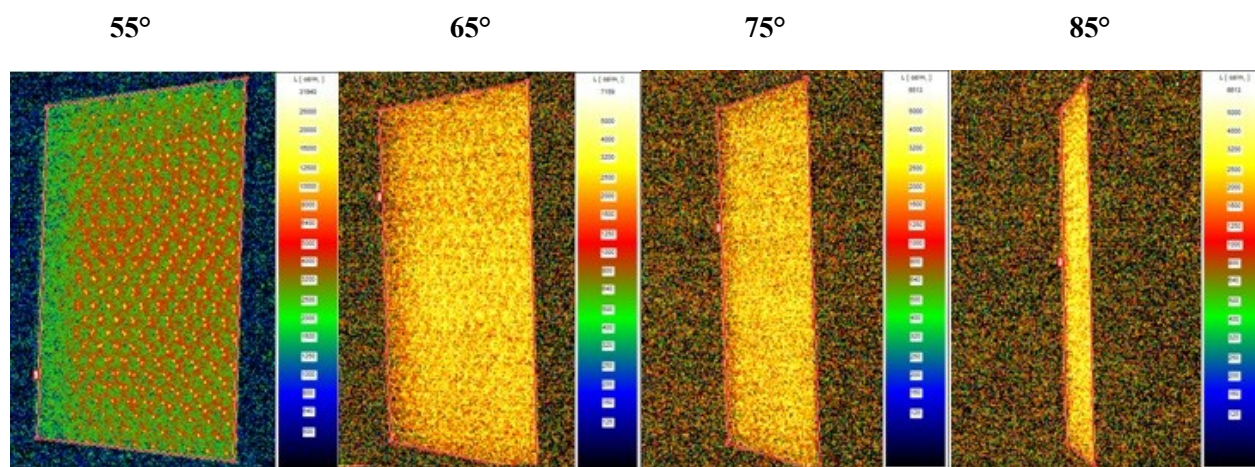
Jasové fotografie

Fotografie pořízeny z jasového analyzátoru.



Obr. 64: Jas pod úhlem 0° : $L_o = 1587 \text{ cd/m}^2$

Jasy pod jednotlivými úhly:



Obr. 65: Jasové mapy

Tabulka hodnot změřených je výsledkem z programu LMK soft, vypočítané hodnoty jsou dále vypočteny z hodnot křivky svítivosti dle vzorce $L = \frac{I}{S \cdot \cos \gamma}$.

Tab. 5: Změřené a vypočítané hodnoty

Úhel γ	L_{\max} (cd/m ²)	L_{av} (cd/m ²)	L_v (cd/m ²)
55°	651	71	73
65°	145	47	53
75°	130	42	44
85°	133	45	51

Svítlidlo LED – bodový zdroj

K porovnání svítidla Hormen jsem použil LED panel, abych zjistil důsledky použití prizmatického krytu u bodových LED.

Velikost: 13 x 3,5 cm

Optická část 10 x 2,5 cm

Výška 3,5 cm



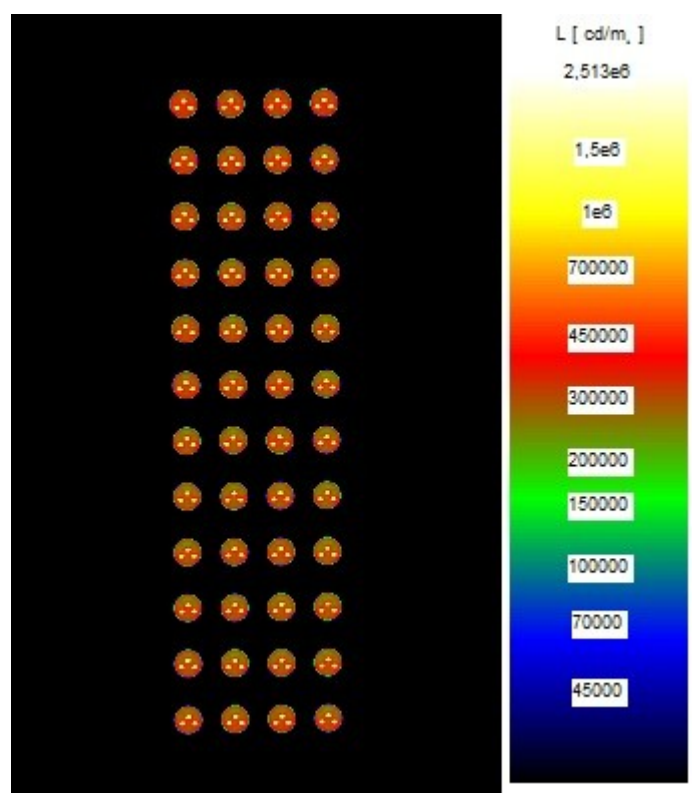
Obr. 66: Fotografie měřeného LED panelu

Další naměřené a vypočtené hodnoty

- proud $I = 0,05 \text{ A}$,
- $P = 9,3 \text{ W}$,
- $S = 12 \text{ VA}$,
- $\lambda = 0,77$

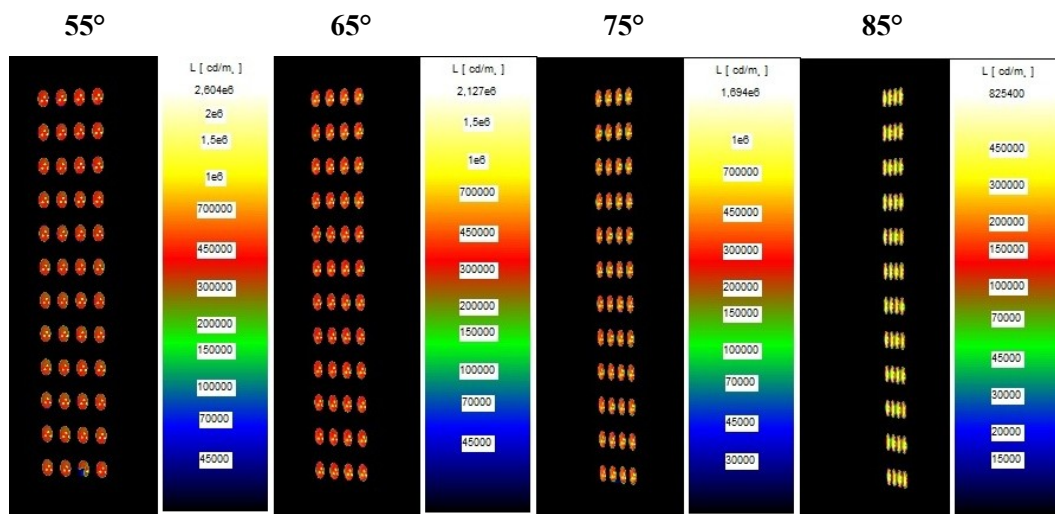
Jasové fotografie

Jasy v 0° jsou o několik řádů vyšší než u světla s prizmatickým krytem.



Obr. 67: Jas pod úhlem 0° : $L_o = 2,51e6 \text{ cd/m}^2$

Jasy pod jednotlivými úhly:



Obr. 68: Jasové mapy

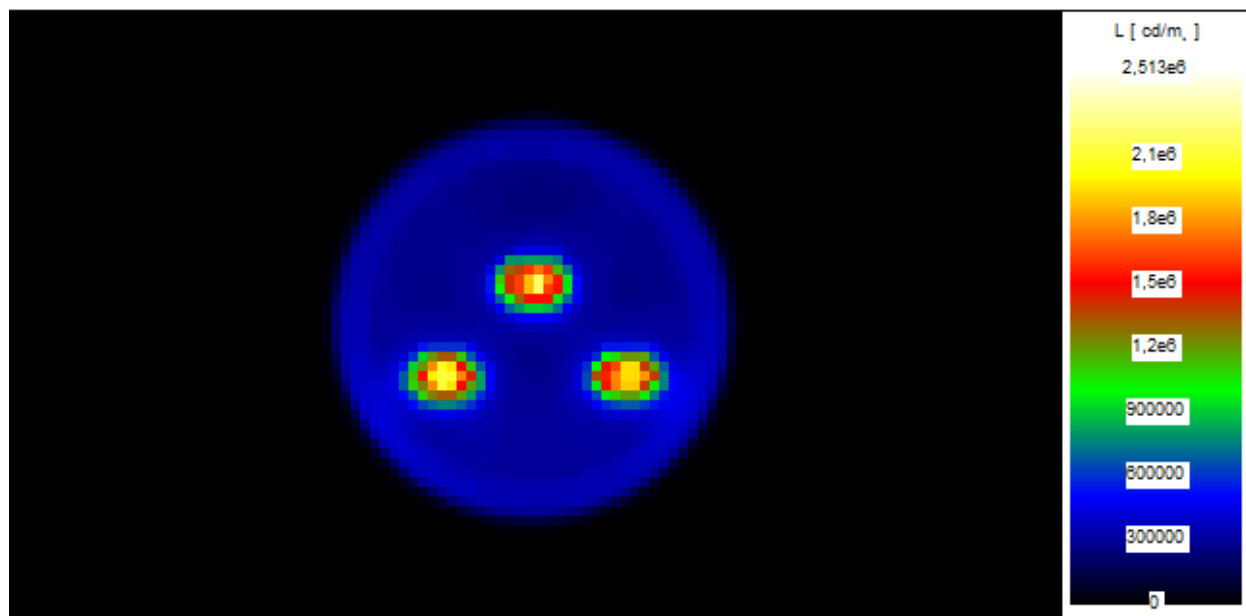
U tohoto LED panelu jsou jen hodnoty změřené. Pro výpočet jsem neměl hodnoty z křivky svítivosti. U LED panelu jsem změřil, že jsou jasy při 45° a 55° vyšší než při 0°. Panel tedy nevyzařuje tzv. Lambertovou plochu.

Tab. 6: Změřené hodnoty

Úhel γ	L_{\max} (cd/m ²)	L_{av} (cd/m ²)
55°	2,61e6	93530
65°	2,13e6	87300
75°	1,69e6	83560
85°	0,83e6	55860

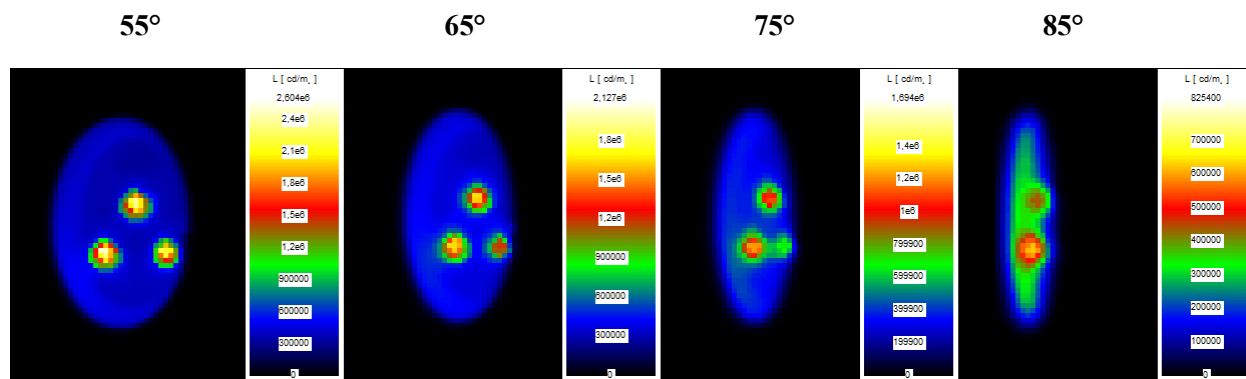
Jasové fotografie

Pro porovnání jsem zvolil i světelně činnou plochu jednoho čipu LED.



Obr. 69: Jas pod úhlem 0°: $L_o = 2,51e6 \text{ cd/m}^2$

Jasy pod jednotlivými úhly:



Obr. 70: Jasové mapy

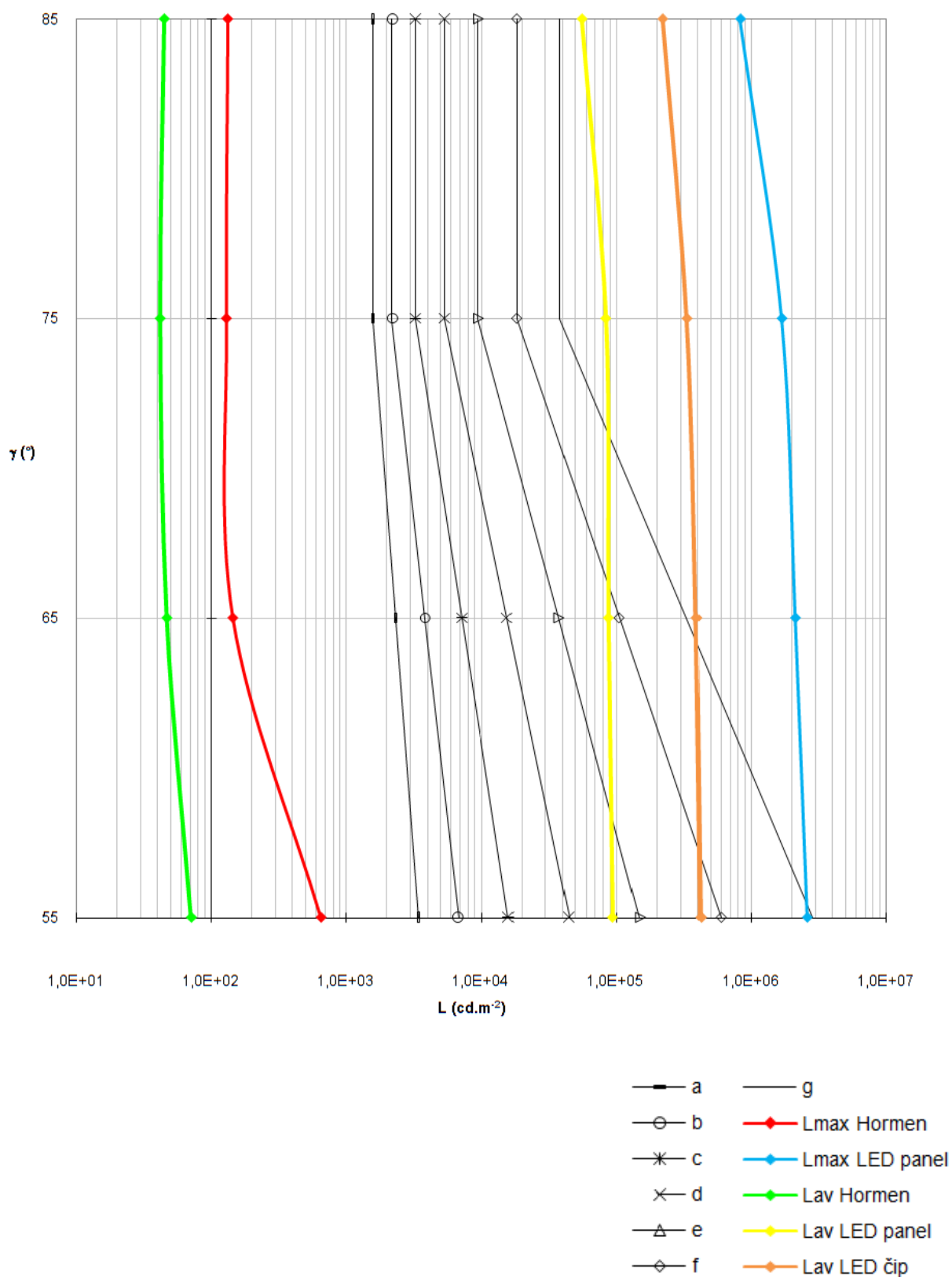
I u čipu jsem odečetl z programu LMK Soft hodnoty maximální a hodnoty průměrné.

Tab. 7: Změřené hodnoty

Úhel γ	L_{\max} (cd/m ²)	L_{av} (cd/m ²)
55°	2,61e6	426400
65°	2,13e6	394000
75°	1,69e6	336800
85°	0,83e6	221000

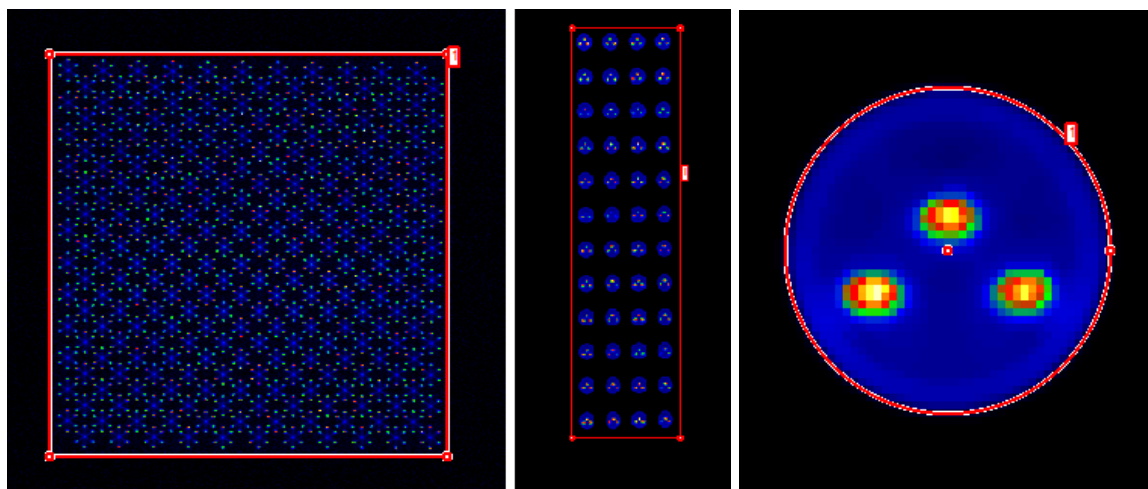
Maximální hodnoty jsou samozřejmě stejné, jen hodnoty průměrné se zvětšily s ohledem na vybranou plochu.

Porovnání jasů svítidla Hormen, LED panelu a jednoho čipu pomocí křivek mezních jasů



Obr. 71: Porovnání maximálních a středních hodnot jasu

Hodnoty jasů jsem bral opět z celé plochy svítidla. U LED panelu není patrný okraj, a tudíž jsou změřené hodnoty středních jasů orientační.



Obr. 72: Vymezení měřených svítidel – vyznačení regionů

Ačkoliv plochy porovnávaných svítidel nejsou stejně velké, tak je z měření patrné, že při použití prizmatického krytu je jas LED velice nízký. Zatímco LED panel bez krytu má jas diody přibližně $2\,500\,000\text{ cd/m}^2$, při použití krytu je maximální jas 1587 cd/m^2 . To má však zásadní vliv na účinnost, kdy použitím krytu účinnost svítidla klesne, na druhou stranu se však sníží hodnota oslnění.

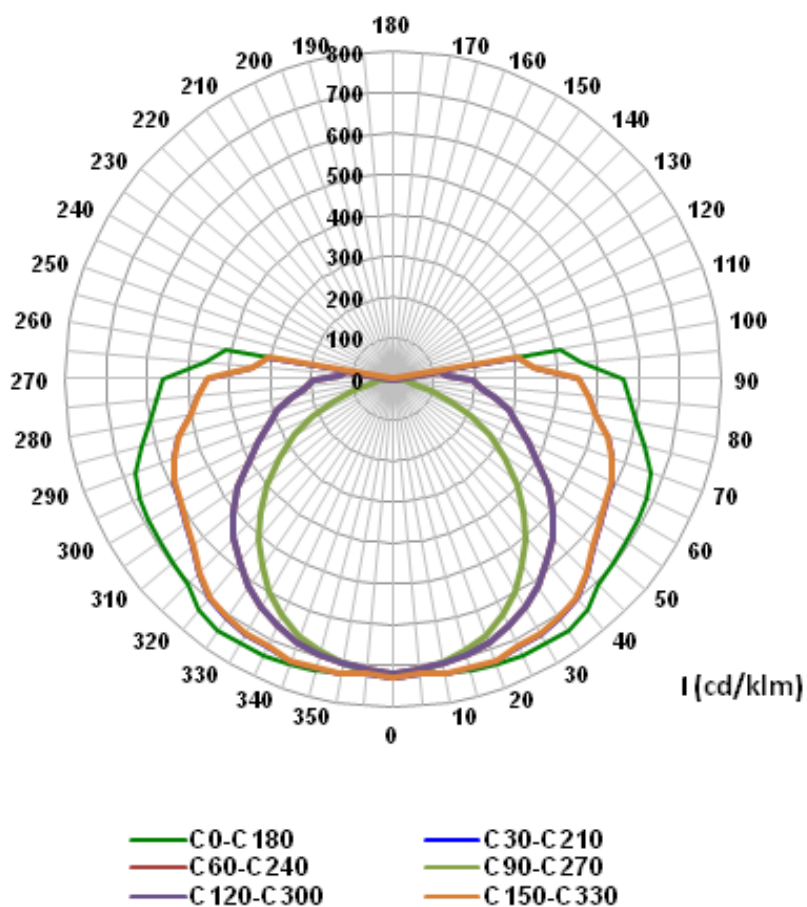
6.3 Metody porovnání zářivkových a LED trubic

Měřením jsem chtěl poukázat na jednotlivá kritéria, podle nichž se dají porovnat vlastnosti a parametry trubic zářivkových a LED.

Zářivková trubice OSRAM



Obr. 73: Zářivka OSRAM LUMILUX 58W/840



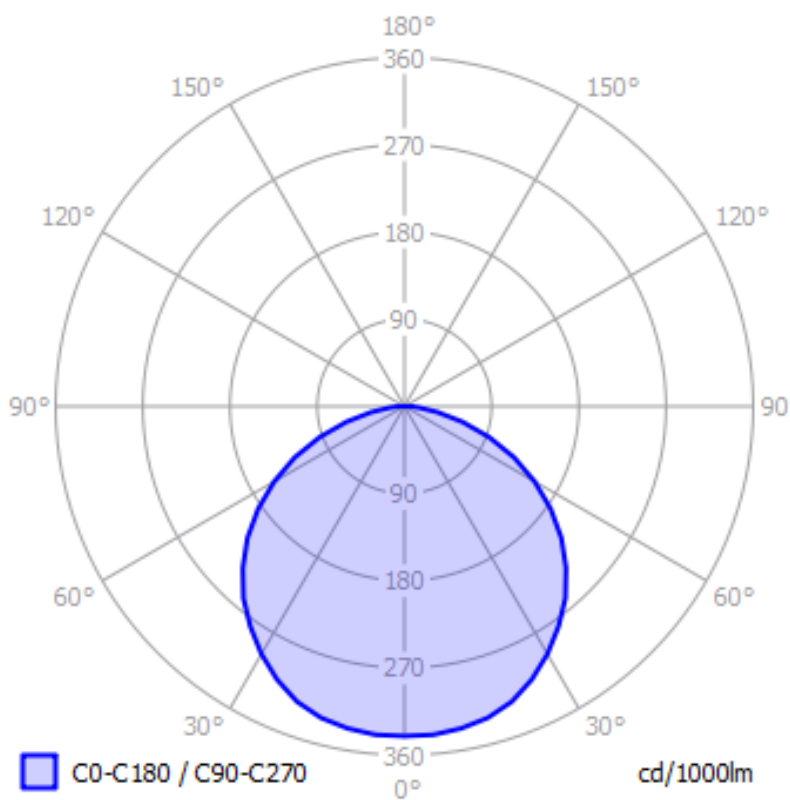
Obr. 74: Křivky svítivosti (ve vzdálenosti 9,6 m)

LED trubice apolloSTAR

Trubice LED – oproti zářivkové trubici vyzařuje pouze jednou polovinou své plochy.



Obr. 75: LED trubice apolloSTAR T8-15AC1-25NB-T271



Obr. 76: Křivky svítivosti a tabulka svítivosti (samostatná LED trubice)

Tab. 8 Tabulka svítivosti

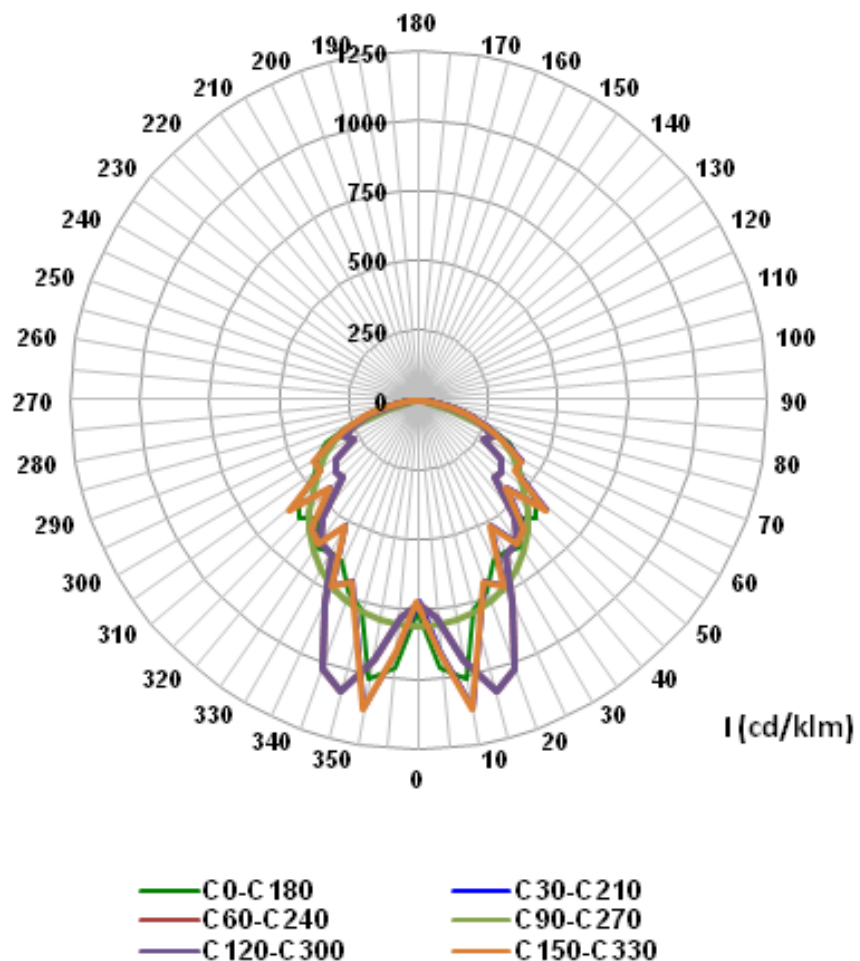
γ [°]	I [cd/klm]
0	340,3
5	340,3
10	337,5
15	332,8
20	324,3
25	311,1
30	295,2
35	277,3
40	258,5
45	235,9
50	211,5
55	184,2
60	155,1
65	125
70	93,1
75	62
80	34,8
85	15
90	6,6

Měření křivek svítivosti LED trubice umístěné ve svítidle

Trubicí LED jsem umístil do svítidla s refraktorem a poté změřil křivky svítivosti v různých úhlech. Je vidět, jaký vliv má refraktor na křivky svítivosti.

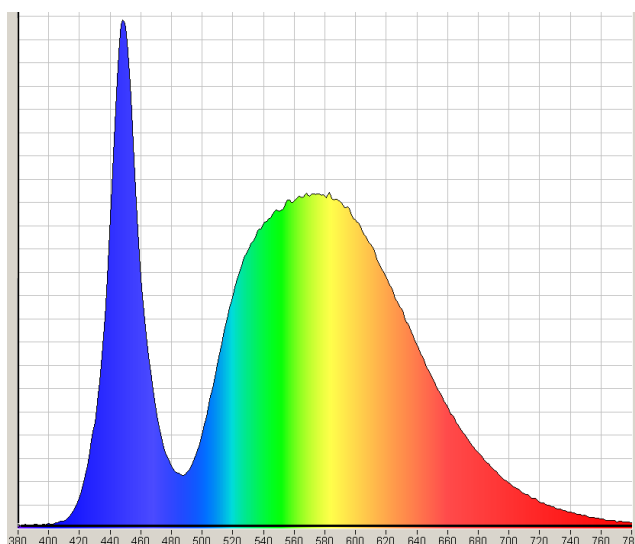


Obr. 77: Měřené svítidlo



Obr. 78: Křivka svítivosti pro LED trubici umístěnou ve svítidle

Spektrum vyzařování jsem měřil pomocí spektrofotometru (Jeti specbos 1211).



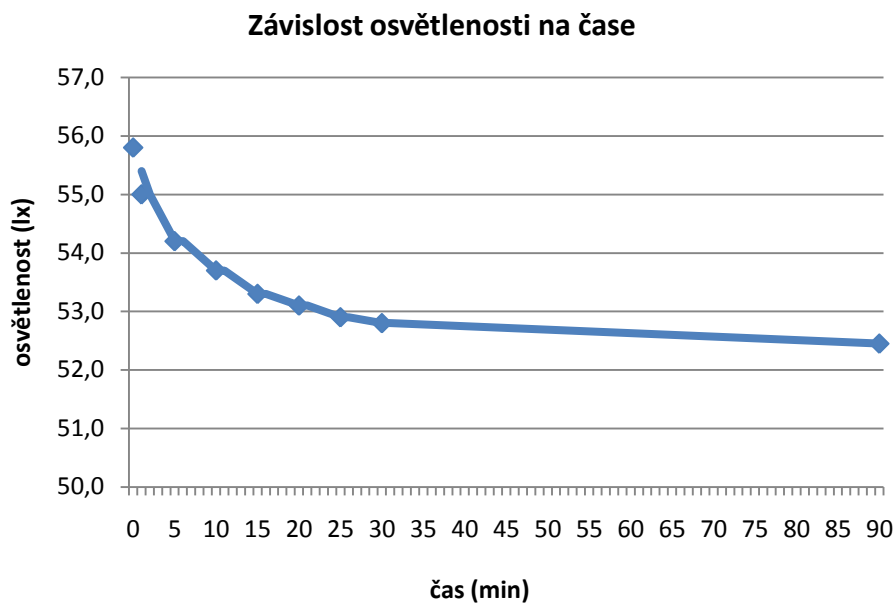
Obr. 79: Spektrum vyzařování svítidla (relativní)

Měření osvětlenosti E [lx]

Měření probíhalo ve světelné kouli, kde jsem umístil samotnou LED trubici a po uplynutí určité doby jsem z luxmetru odečetl hodnotu.

Tab. 9: Tabulka osvětlenosti

t (min)	E (lx)
0	55,8
1	55,0
5	54,2
10	53,7
15	53,3
20	53,1
25	52,9
30	52,8
200	52,4



Obr.: 80: Závislost osvětlenosti na čase

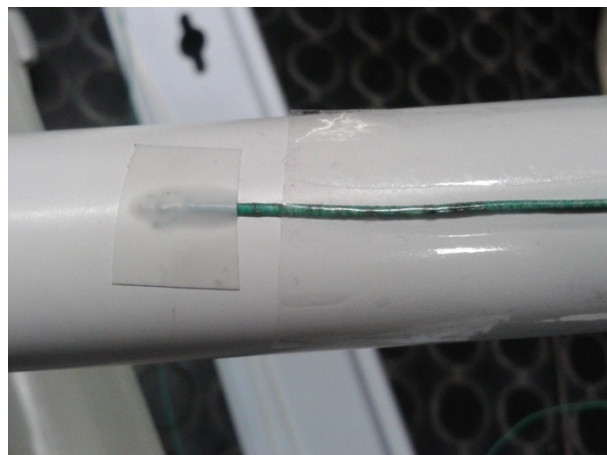
Měření oteplení LED trubice ve svítidle

Teplotu jsem měřil pomocí měřicí a záznamové ústředny MSSD – 8 kanálů kalibrovaných pro měření teploty. Čtyři měřicí kanály jsem umístil podle obrázků.

a) LED čip



b) LED trubice zezadu



c) Vnitřek svítidla



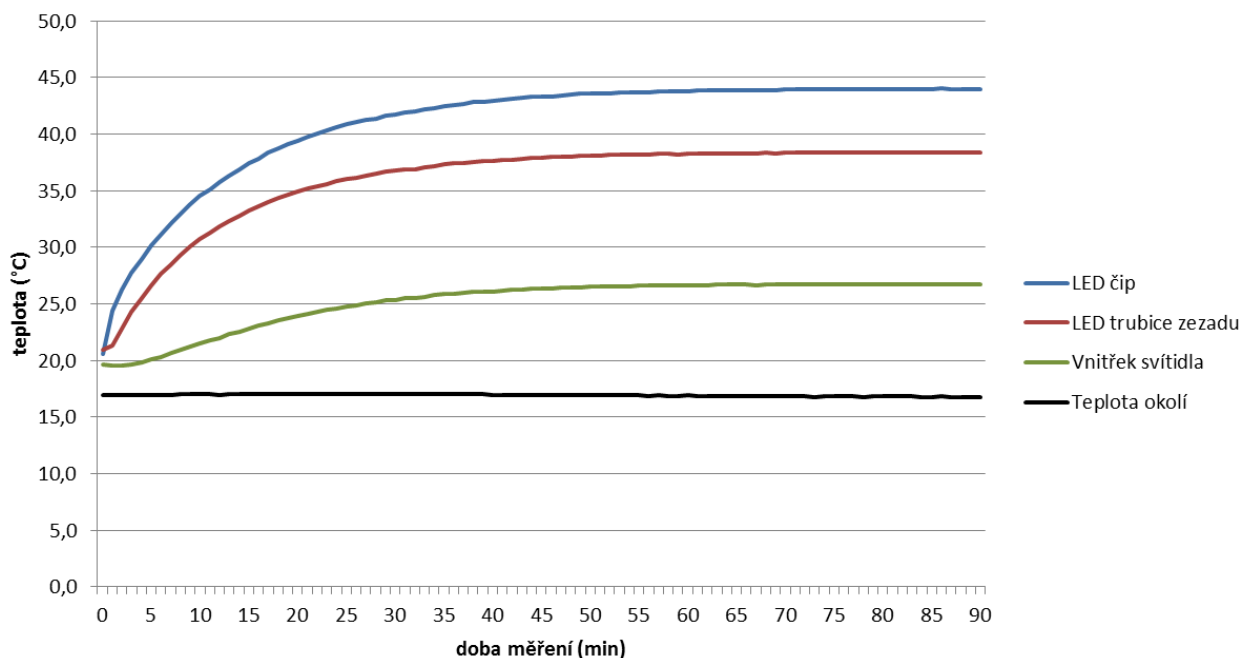
Obr. 81: Umístění tepelných senzorů

d) Prostředí (měření teploty okolí)

Tab. 10: Naměřené hodnoty oteplení

	LED čip	LED trubice zezadu	Vnitřek svítidla
dosažená teplota	44 °C	38,4 °C	26,7 °C
maximální oteplení	27°C	21,4 °C	9,7 °C

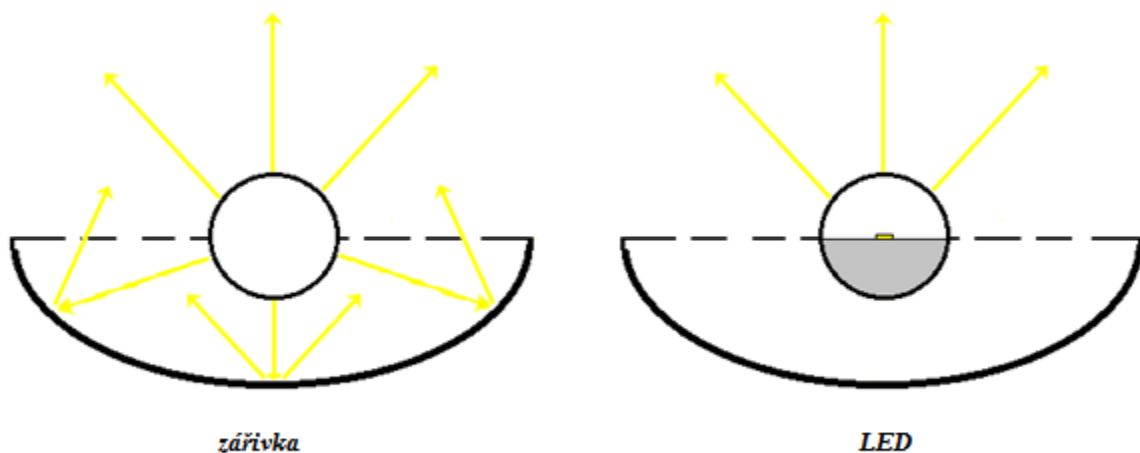
Grafické vyhodnocení naměřených teplot na LED trubici.



Obr. 82: Oteplovací charakteristika LED trubice v prachotěsném svítidle

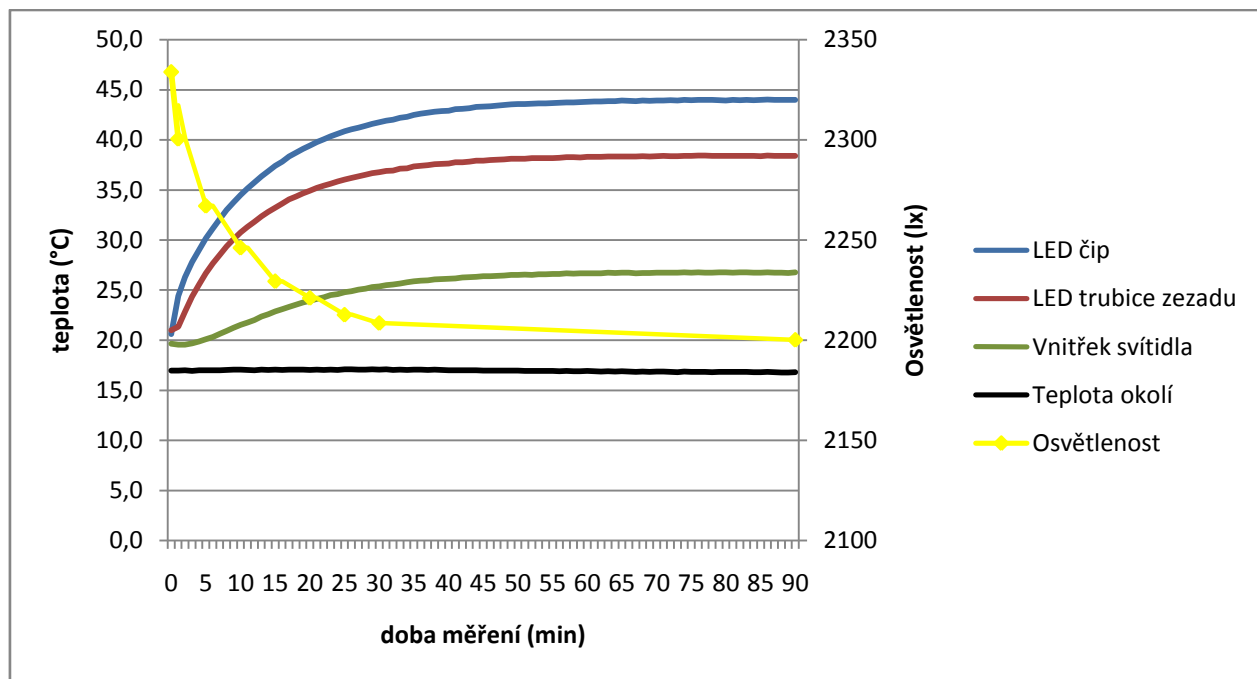
Pro porovnání vlastností a parametrů zářivkových a LED trubic se dá vycházet z měření, které jsem provedl pro LED trubici. Porovnání křivek svítivosti v jednotlivých rovinách a to jak samostatné trubice, tak i vložené v refraktorovém svítidle. Zhodnotit se dají i spektra vyzařování trubic a také vliv času na osvětlenost. Dále se svítidla dají porovnat trubice podle změny teploty v čase, kdy se teplotní čipy umístí na určitá místa ve svítidle.

Z naměřeného lze vidět, že i když zářivková trubice využívá odrazu ve světle pro svoji křivku svítivosti, trubice LED má téměř stejnou křivku svítivosti.



Obr. 83 Rozdíl vyzařování u trubice zářivkové a u LED

Dále jsem zjistil, že u LED trubice s rostoucí teplotou klesá osvětlenost – osvětlenost je nepřímo úměrná oteplení.



Obr. 84 Závislost osvětlenosti na okolní teplotě

7 Závěr:

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo zjistit rozdíly mezi svítidly zářivkovými a LED. V první části jsem popsal typy svítidel a světelné zdroje. Práce byla zaměřena hlavně na zářivkové zdroje a svítidla a také na LED svítidla. V druhé části jsem měřil a porovnával hlavně jejich křivky svítivosti a hodnoty jasů.

V prvním měření jsem porovnával dvě stejná vnitřní svítidla od firmy Thorn – Chalice. Svítidla byla z polykarbonátu, reflektor zrcadlový vakuově metalizovaný plast. Jedno svítidlo mělo světelný zdroj LED a druhé svítidlo mělo dvě zářivky dvaceti šesti wattové. Obě svítidla měla stejný vyzařovaný světelný tok 2000 lm. Změřil jsem je pomocí jasového analyzátoru LMK Mobile advanced, kde svítidlo bylo umístěno na světelné lavici ve vzdálenosti 3 metry od měřicího zařízení. Naměřené snímky jsem nahrál do programu LMK Soft a vyhodnotil naměřená data. Z těchto dat jsem odečetl hodnoty maximálních a průměrných jasů. Bral jsem v úvahu celou aktivní světelnou plochu. Dále jsem k těmto hodnotám vypočítal hodnoty jasů pomocí křivek svítivosti. Tyhle hodnoty byly téměř totožné s hodnotami naměřenými. Během měření jsem dokázal, že LED má při nižším výkonu daleko vyšší jas než zářivky, ale s ohledem na menší světelně činnou plochu způsobuje větší oslnění. Při 45° má dokonce vyšší maximální jas než v přímém pohledu v 0°. To znamená, že se LED nechová jako klasický Lambertův zářič. Svítidlo se zářivkami má nižší jasy, ale nezpůsobuje tak vysoké oslnění jako LED. Z důvodu, že při 65° a 75° je stále vidět světlený zdroj, má maximální hodnoty jasů v těchto úhlech vyšší než u svítidel LED ve stejných úhlech. Hodnoty jasů jsem porovnal v grafech.

V druhém měření jsem porovnával čipy LED bez a s prizmatickým krytem. Také v tomto měření jsem měřil pomocí jasového analyzátoru a data vyhodnocoval v programu LMK Soft. Svítidlo s prizmatickým krytem bylo od firmy Hormen a mělo podstatně nižší jas než LED bez tohoto krytu. LED panel měl také ve 45° vyšší jas, než v přímém pohledu, takže také není tzv. ideálním Lambertovým zářičem. Pro porovnání jsem do grafu vynesl i hodnoty jednoho čipu tohoto panelu. Kryt sice zmenšuje hodnotu jasů, avšak za snížení účinnosti svítidla.

Poslední měření ukazuje možnosti porovnání zářivkových a LED trubic. Dají se porovnat podle určitých kritérií. Křivky svítivosti, osvětlenosti nebo třeba oteplení. Při měření trubice LED jsem zjistil, že je trubce závislá na oteplení, s rostoucí teplotou klesá osvětlenost. Proto je vhodné řešit i umístění a případné chlazení svítidla.

8 Použitá literatura a zdroje

- [1] **Jaroslav Doleček** – Moderní učebnice elektroniky. Optoelektronika a optoelektronické prvky, BEN, Praha 2006
- [2] **doc. Ing. Jiří Plch, CSc.** – Světelná technika v praxi, IN – EL, Praha 1999
- [3] **Karel Sokanský a kolektiv** – Světelná technika, ČVUT, Praha 2011
- [4] **Jiří Habel a kolektiv** – Světelná technika a osvětlení, FCC PUBLIC, Praha 1995
- [5] <http://led-trade.cz>
- [6] www.4-construction.com
- [7] <http://www.okokchina.com/p/LED-Light/Full-color-SMD-LED-493935.html>
- [8] <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/diody.htm>
- [9] <http://www.led-moduly.cz/vse-o-led.html>
- [10] <http://www.odbornecasopisy.cz>
- [11] www.elkovo-cepelik.cz
- [12] <http://www.preciosa.com/>
- [13] <http://www.danisevsky.cz/>
- [15] <http://www.posvitime.cz/>
- [16] <http://www.nej-svitidla.cz/zbozi/6147/Zavesne-svitidlo-moderni-Eglo-PINTO-89834.htm>
- [17] <http://www.lightway.cz/>
- [18] <http://www.green-house-tu.cz/>
- [19] <http://www.harmony-shop.cz>
- [20] <http://misovystranky.wz.cz/d.html>
- [21] www.svicenilevne.cz

[22] www.osram.cz

Normy:

ČSN 36 0004/66 Umělé světlo a osvětlování. Všeobecné ustanovení

ČSN 36 0008/61 Oslnění, jeho hodnocení a zábrana

ČSN EN 60081/93 Zářivky pro všeobecné osvětlování (bezpečnostní požadavky **ČSN EN 61195/96**)

ČSN 36 0450/86 Umělé osvětlení vnitřních prostorů

ČSN EN 60598-1 Svítidla - Část 1: Všeobecné požadavky a zkoušky

ČSN EN 60598-2-1, ČSN EN 60598-2-2 Elektrická svítidla

ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory

ČSN EN 13032-2: Světlo a osvětlení – Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel – Část 2: Způsob uvádění údajů pro vnitřní a venkovní pracovní prostory